

A.T. 840086

REPUBLIKA DEMOKRATIKA MALAGASY

MINISTERE DE LA PRODUCTION AGRICOLE
ET DE LA REFORME AGRAIRE



CS168
[822]
de
2 AOUT 1984

REGION DU LAC ALAOTRA MADAGASCAR

LE MILIEU PHYSIQUE

APTITUDES A LA MISE EN VALEUR AGRICOLE

SYSTEME ET STRUCTURE

M. RAUNET

1984

I.R.A.T.
INSTITUT DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES TROPICALES

MONTPELLIER - FRANCE

REPOBLIKA DEMOKRATIKA MALAGASY

**MINISTERE DE LA PRODUCTION AGRICOLE
ET DE LA REFORME AGRAIRE**

c 5468

(822)



**REGION DU LAC ALAOTRA
MADAGASCAR**

LE MILIEU PHYSIQUE

APTITUDES A LA MISE EN VALEUR AGRICOLE

SYSTEME ET STRUCTURE

M. RAUNET

1984

I.R.A.T.

**INSTITUT DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES TROPICALES**

MONTPELLIER - FRANCE

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS ET AVERTISSEMENT.....	1
PRESENTATION GENERALE DE LA REGION.....	3
METHODE D'APPROCHE DU MILIEU NATUREL - SYSTEME ET STRUCTURE	5
L'ENVIRONNEMENT RIZICOLE	11
LES ROCHES ET LES FORMATIONS SUPERFICIELLES	19

ETUDE DES UNITES DE MILIEU

LES GRANDES SUBDIVISIONS NATURELLES DU PAYSAGE	27
PREMIERE PARTIE : LES MODELES DE DISSECTION	29
I. 1. LES RELIEFS TRES ACCIDENTES ET PENTUS A EROSION ACTIVE GENERALISEE	29
1.1.1. Les ravinements profonds en "lavaka" (unité 1) ...	30
1.1.2. Les reliefs polyédriques à grands versants rectilignes sur granite (unité 2)	31
1.1.3. Les reliefs à évolution polyédrique à grands versants, sur gneiss à amphibole (unité 3)	32
1.1.4. Les reliefs "multi-convexes" en cours de "rectification" sur gneiss à amphibole (unité 4) ...	34
1.1.5. Les reliefs à grands versants bosselés sur gneiss et gabbros alternés (unité 5)	35
1.1.6. Les reliefs à grands versants bosselés et ravinés sur gabbros (unité 6)	36
I. 2. LES RELIEFS ACCIDENTES ET PENTUS A EROSION MODEREE NON GENERALISEE	38
1.2.1. Les reliefs structuraux orientés, sur migmatites armées de lames de granite (unité 7 et 8)	38
1.2.1.1. Les rides montagneuses très pentues (unité 7)	39
1.2.1.2. Les reliefs convexo-concaves à pentes moyennes (unité 8)	40
1.2.2. Les reliefs multi-convexes ("demi-oranges") sur gneiss et migmatites (unités 9 et 10)	42
1.2.2.1. "Demi-oranges" à décapage assez important (unité 9)	44
1.2.2.2. "Demi-oranges" à décapage faible à nul (unité 10)	44
1.2.3. Les reliefs structuraux orientés sur gneiss à amphibole et amphibolite (unité 11)	45

I. 3. LES RELIEFS COLLINAIRES PEU PENTUS A EROSION FAIBLE A NULLE.....	48
I.3.1. Les collines sur gneiss à amphibole et amphibolite (unité 12).....	48
I.3.2. Les restes d'édifice volcanique basaltique (unité 13).....	51
I.3.3. Les replats sommitaux collinaires (unité 14)....	52
I.3.4. Les versants de raccordement entre glacis- terrasses perchés et plaines de niveau de base actuel (unité 15).....	52
DEUXIEME PARTIE : LES NIVEAUX DE BASE ANCIENS.....	54
II. 1. LES PLATEAUX SOMMITAUX	59
II.1.1. Les plateaux sommitaux sans matériau stratifié alluvial (unité 16).....	62
II.1.2. Les plateaux sommitaux à matériau stratifié alluvial (unité 17).....	69
II. 2. LES GLACIS-TERRASSES.....	73
II.2.1. Les glacis-terrasses sans matériau stratifié alluvial (unité 18).....	75
II.2.2. Les glacis-terrasses à matériau stratifié alluvial (unité 19).....	76
TROISIEME PARTIE : LES NIVEAUX DE BASE RECENTS.....	82
III. 1. Les terrasses à sols argilo-sableux "gris/jaune" spécifiques à la zone proche de l'exutoire du Maningory (unité 20).....	82
III. 2. Les glacis-terrasses et bas-fonds non "fonctionnels" à sols argilo-sableux gris ou jaune (unité 21).....	86
III. 3. Les terrasses à "sables blancs lavés". (unité 22).....	88
QUATRIEME PARTIE : LES NIVEAUX DE BASE ACTUELS	91
IV. 1. LES BAS-FONDS	94
IV.1.1. Les bas-fonds à tourbe sableuse peu épaisse sur sables blancs "lavés" (unité 23)	94
I. 1.2. Les bas-fonds à tourbe épaisse sur sables blancs "lavés" (unité 24).....	100
IV. 2. LES "GLACIS PLAINES" DE FLUAGE A SOLS HYDROMORPHES	101
IV.2.1. Les "glacis-plaines" à sols de texture argilo- sableuse (unité 25)	103
IV.2.2. Les "glacis-plaines" à sols de texture sableuse (unité 26).....	111
IV.2.3. Les "glacis-plaines" à sols vertiques (unité 27)	113

IV. 3. LES PLAINES FLUVIO-LACUSTRES A SOLS HYDROMORPHES MINERAUX	116
IV.3.1. Les matériaux à texture très argileuse (unité 28).....	117
IV.3.2. Les matériaux à texture très sableuse	122
IV.3.2.1. sur cordons littoraux (unité 29).....	122
IV.3.2.2. sur levées alluviales peu marquées (unité 30)	123
IV.3.3. Les matériaux à texture hétérogène : couches sableuses et argileuses imbriquées (unité 31)	123
IV. 4. LES PLAINES FLUVIO-LACUSTRES A SOLS HYDROMORPHES MOYENNEMENT ORGANIQUES	125
IV.4.1. Les matériaux à texture très argileuse (unité 32)	127
IV.4.2. Les matériaux à texture hétérogène : couches sableuses et argileuses imbriquées (unité 33)	132
IV.4.3. La frange de fluctuation saisonnière des eaux libres de la cuvette centrale (unité 34).....	136
IV. 5. LES PLAINES FLUVIO-LACUSTRES A SOLS HYDROMORPHES TOURBEUX,	137
IV.5.1. Les zones aménagées et drainées à tourbe résiduelle peu épaisse	138
IV.5.1.1. Tourbe sur matériau à texture très argileuse (unité 35).....	143
IV.5.1.2. Tourbe sur matériau à texture hétérogène : sable ou argile (unité 36).....	150
IV.5.2. Les zones aménagées et drainées récemment, à tourbe encore assez épaisse (unité 37).....	157
IV.5.3. Les zones non aménagées à tourbe épaisse non flottante (unités 38 et 39)	160
IV.5.4. La tourbe flottante de la cuvette centrale (unité 40)	161
IV. 6. LES PLAINES ET VALLEES A EPANDAGES FLUVIATILES OU COLLUVIAUX ACTUELS	162
IV.6.1. Les épandages sablo-gravillonnaires (unité 41),	164
IV.6.2. Les alluvions des vallées amont	166
IV.6.2.1. Les vallées à alluvions de texture sableuse dominante (unité 42)	166
IV.6.2.2. Les vallées à alluvions de texture argileuse dominante (unité 43)	168

IV.6.3. Les alluvions des vallées aval et des plaines d'épandages terminales	170
IV.6.3.1. Les alluvions à texture argileuse dominante (unité 44).....	172
IV.6.3.2. Les alluvions des "levées" bien drainées à texture variable (unité 45)	174
IV.6.3.3. Les alluvions à texture limono-miocène dominante (unité 46)	176
IV.6.3.4. Les épandages sableux fonctionnels (unité 47)	183
IV.6.3.5. Les épandages limoneux fonctionnels (unité 48)	184
IV.6.4. Les cuvettes de décantation latérales à marécages (unité 49)	184
IV.6.5. Les colluvions de piémont.....	185
IV.6.5.1. Les colluvions à texture argileuse (unité 50)	186
IV.6.5.2. Les colluvions à texture sableuse à argilo-sableuse (unité 51)	187
CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE SUR LA CONNAISSANCE DU MILIEU TROPICAL.....	188
CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE SUR LES POSSIBILITÉS DE MISE EN VALEUR DU MILIEU	198
I - LES ZONES "HAUTES"	199
I.1. Le point de vue pédologique	199
I.2. Le point de vue topologique	203
I.3. Le point de vue topographique et morphodynamique.....	205
I.4. Classement et hiérarchisation synthétique des unités de milieu quant à leurs aptitudes à la mise en valeur.....	207
II - LES ZONES "BASSES"	208
II.1. Zonalité hydro-pédologique et agronomique "sub- concentrique" des plaines hydromorphes autres que les "baibohos".....	210
II.1.1. Tendance générale de la zonalité.....	210
II.1.2. Croisement de la zonalité générale par les composantes "granulométrique" et "anthropique" ..	213
II.2. Zonalité sédimentologique, pédologique et agronomique "sub-longitudinale" des plaines à "baibohos"	215
II.3. Rappel de la hiérarchie des types de milieu quant à leurs aptitudes pour le blé et le riz.	217
BIBLIOGRAPHIE.....	219
ANNEXES : DESCRIPTIONS ET ANALYSES DE SOLS	

AVANT PROPOS ET AVERTISSEMENT

Cette étude, financée par le F.A.C. (Fond d'Aide et de Coopération du Gouvernement Français), a été demandée à l'IRAT (Institut de Recherches Agronomiques Tropicales) par le Ministère de la Production Agricole et de la Réforme Agraire (M.P.A.R.A.) de la République Malgache.

Elle entre dans le cadre général du "programme d'expérimentation d'accompagnement pour le développement de la productivité des rizières de la S.O.M.A.L.A.C." (Société Malgache d'Aménagement du Lac Alaotra). Ce programme, confié à l'IRAT, est axé sur la riziculture irriguée, la riziculture pluviale, et le blé contre-saison.

Le but de ce travail est l'évaluation du potentiel du milieu physique (composante climatique exclue) pour la mise en valeur agricole, *qualitatif* en ce qui concerne les types de contraintes et d'avantages, et *spatio-quantitatif* en ce qui concerne leurs localisations, superficies et représentativités. Cette évaluation est destinée à aider les responsables du développement agricole, dans leurs choix et décisions, de leur faire percevoir les implications de leurs interventions sur l'évolution du milieu physique.

La superficie totale cartographiée à l'échelle du 1/50 000 (non compris le lac et les marécages centraux) est d'environ 3 600 km². Les travaux de terrain se sont déroulés en juillet 1983.

Avant d'aborder l'exposé, nous devons avertir le lecteur, afin qu'il ne soit pas trop surpris, sur la forme et le contenu que nous avons donnés à cet exposé, qui diffère quelque peu du genre habituel.

La région du lac Alaotra, rassemble, sur une superficie relativement restreinte un éventail varié et un échantillonnage remarquablement riche de la plupart des types de milieu "géomorpho-pédologique" du monde tropical humide. Sa cohérence, sa "compacité géographique", malgré sa multiplicité de "paysages", avec leurs problématiques propres de mise en valeur (dans le contexte spécifiquement malgache toutefois), nous ont semblé justifier une approche globale, structurale et systémique, aussi bien dans la pratique du terrain que dans la représentation cartographique et l'exposé écrit qui rendent compte du milieu.

Par rapport à ce qu'on nous demandait initialement (objet du contrat IRAT-MPARA), qui limitait l'étude à l'aspect purement pédologique et qui dispersait les zones à inventorier, nous avons été amenés à élargir conceptuellement et spatialement le champ de l'étude, de façon à éviter de détacher artificiellement l'aspect sol des autres composantes non moins importantes que sont l'eau, le relief, les facteurs "topologiques", la géologie, l'érosion, l'homme...

La démarche adoptée pour l'exposé a le souci essentiel de considérer les limites des champs disciplinaires, non pas comme des frontières murées, rigides et infranchissables, mais comme des membranes perméables ; ceci de façon à laisser émerger la globalité, beaucoup plus riche que la somme juxtaposée des thèmes, tout en respectant la diversité et en mettant en évidence les multiples "interactions" (que ce soit entre "disciplines" ou entre processus de la nature). Nous avons donc essayé d'attaquer de front ce "fameux" concept d'*interaction* dont on parle si souvent mais qui s'estompe si aisément, devenant impalpable, quand on essaie de le cerner dans les situations concrètes.

Pour en rendre compte, il nous fallait, par une démarche dialectique, tenter de sortir de la contrainte spatio-temporelle de l'exposé écrit linéaire. L'objectif n'est pas, pour nous, de donner un recueil monographique de recettes à appliquer à tel ou tel type de milieu. Nous avons préféré, quitte à alourdir et à allonger le texte par des retours en arrière et anticipations sur ce qui est développé postérieurement, faire s'interpénétrer les considérations sur la structure du milieu physique, son fonctionnement, sa genèse, son évolution, les considérations analytiques sur les caractéristiques intrinsèques des parties qui composent ce milieu physique, et enfin les considérations pratiques pour la mise en valeur, qui intéressent le plus directement les responsables du développement. Nous avons voulu que les conclusions pratiques concernant tel ou tel type de milieu découlent logiquement de leur contexte explicatif amont, et soient toujours relativisées à l'ensemble régional.

En égard à l'intérêt, à notre avis (et relativement à notre expérience propre) exceptionnel à tous points de vue, de cette région de l'Alaotra et compte tenu des conclusions plus générales permises par l'étude de ce cas fécond, il nous semble qu'il aurait été dommage de limiter cette étude à la simple description fractionnée et thématique des faits, de ne pas exposer à cette occasion toutes les considérations de nature méthodologique et même épistémologique qu'elle nous a inspiré, de garder sous silence les résultats et conclusions auxquels nous croyons être parvenus, non seulement sur la genèse de la région de l'Alaotra, mais sur la connaissance des tropiques humides sur socle cristallin, en général. Nous ne pensons pas que l'agronome, le responsable du développement, "l'aménageur", le "praticien", n'aient rien à gagner à ce type d'approche.

PRESENTATION GENERALE DE LA REGION

La Cuvette du lac Alaotra, située à 750 mètres d'altitude (environnée de reliefs, culminant entre 750 et 1 500 mètres), logée sur la marge Nord-Orientale des "Hautes Terres" Malgaches, constitue un ensemble naturel régional bien circonscrit et individualisé. Elle est encastrée dans le vaste "Rift" (bassin d'effondrement) du Mangoro, d'âge tertiaire et à dépôts lacustres, lui-même délimité à l'Ouest par le grand escarpement disséqué (faille majeure) de l'Angavo. A l'Est de ce Rift, commence la descente montagneuse très accidentée vers l'Océan Indien.

Ambatondrazaka, la principale agglomération, au Sud de la cuvette, est située à environ 150 kilomètres de Tananarive à vol d'oiseau soit 30 à 40 minutes par avion (2 vols par semaines). Néanmoins le trajet routier, partiellement goudronné, nécessite 5 à 6 heures de voyage. Une liaison par train, en prise à Moramanga sur l'axe ferroviaire Tananarive-Tamatave, relie depuis 1923 la capitale ainsi que la Côte Est (Tamatave) à la région du lac Alaotra, qui se trouve donc relativement désenclavée. Cette région, qualifiée souvent de "grenier à riz" de Madagascar, est un pôle de développement essentiel pour le pays. Sa mise en valeur a débuté en 1920. Actuellement environ 60 000 hectares sont aménagés et rizicultivés. Les reliefs environnants ne sont pratiquement pas cultivés exceptés les vastes zones planes du Sud et quelques collines peu pentues à l'Est.

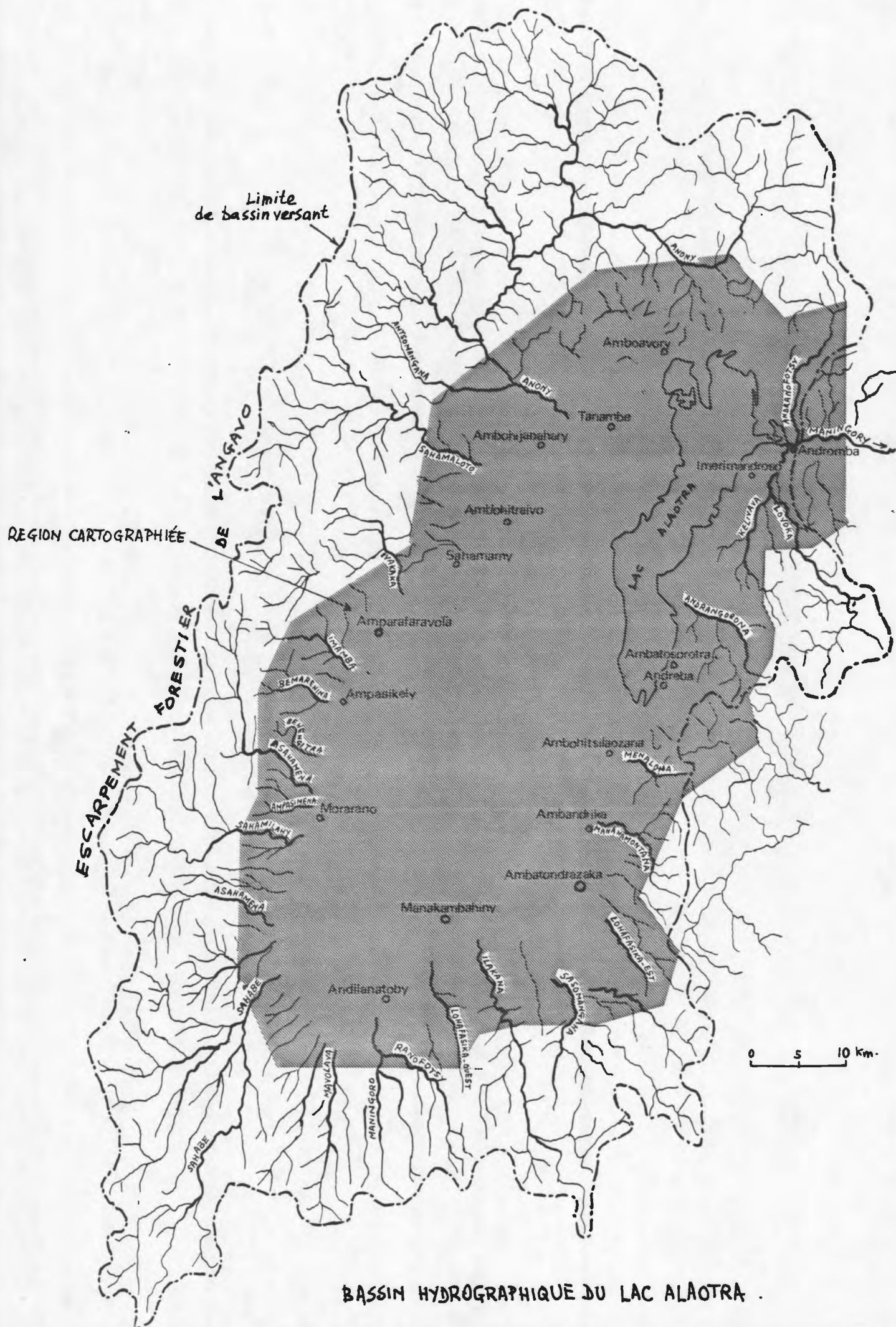
La région du lac Alaotra est, comme la majorité des Hautes Terres Malgaches, marquée par un *climat tropical humide* (1 200 mm) bien qu'à 2 saisons contrastées, par un "*paysage ferrallitique*" (convexités très marquées, bas-fonds encaissés, très puissantes altérations sans indurations ferrugineuses, "surfaces d'aplanissement", grandes plaines hydromorphes à marécages tourbeux...), par une *absence de végétation naturelle ligneuse* (savane à *Aristida* sur les reliefs), par un *substratum géologique cristallin* fortement métamorphisé.

Le fond plat de la cuvette, occupé par un lac *auroolé* de vastes étendues de marécages et de plaines hydromorphes rizicultivées périphériques, a une superficie d'environ 180 000 hectares ; il s'étend, suivant une direction NNE-SSW, sur 70 kilomètres de long pour environ 25 kilomètres de large. Une étendue d'eau libre (2 à 3 mètres de profondeur), constituant le lac Alaotra proprement dit, décentré vers le Nord de la cuvette, occupe une superficie de 24 000 hectares ; les marécages périphériques à papyrus (*Cyperus madagascariensis*), surtout abondants au Sud-Ouest, représentent 60 000 hectares ; enfin, les plaines "utiles" actuellement rizicultivées après récupération des marais, ont une superficie de l'ordre de 60 000 hectares. La cuvette n'a qu'un seul exutoire, le fleuve Maningory, situé au Nord-Est, qui draine vers l'Océan Indien.

La cuvette est entourée de reliefs variés, composés de montagnes escarpées et érodées (pouvant atteindre 1 500 mètres d'altitude) à l'Est au Nord et au Sud, d'un fouillis de collines convexes ("demi-oranges"), plus stables, localement chapeautées de "plateaux" perchés culminant vers 1 000 mètres d'altitude, à l'Ouest. Entre les plaines hydromorphes et les reliefs Sud-Occidentaux, se déploient, en position intermédiaire, des langues perchées et allongées de terrasses et glacis-terrasses convergeant vers la cuvette centrale. Sauf sur la "rive Orientale", la limite "plaine-reliefs" n'est jamais rectiligne ; la plaine se poursuit en de multiples gouttières et vallées s'insinuant entre les reliefs de bordure.

La superficie du "bassin versant" de la cuvette, (celle-ci, plus son environnement de reliefs) mesurée à son exutoire du Maningory près d'Andromba, est d'environ 5 200 km².

L'origine de la cuvette de l'Alaotra, encadrée dans la partie septentrionale du "Rift" du Mangoro qui préexistait (Tertiaire), n'est qu'en partie tectonique. Celle-ci a probablement joué au quaternaire par une fracturation dissymétrique NS, que l'on peut encore localiser sur la "rive orientale" de la dépression. A partir de là, divers processus géochimiques et mécaniques, affectant les épaisses altérites noyées par les nappes phréatiques, ont permis l'évidement (par étapes successives) de la dépression, par fluage régressif et étalement de ces altérites, en partie évacuées vers l'Océan Indien au fur et à mesure du creusement d'une échancrure sur la rive orientale. Pendant l'individualisation de la cuvette et son abaissement progressif, il n'y a probablement pas eu de nappe lacustre épaisse, permanente et généralisée. Nous verrons pendant cette étude comment se sont combinés les processus qui ont conduit à une telle genèse.



BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU LAC ALAOTRA .

METHODE D'APPROCHE DU MILIEU NATUREL

SYSTEME ET STRUCTURE

Le milieu naturel de la région périphérique au lac Alaotra, présente un aspect varié. La diversité géographique, que l'observateur non "spécialisé" perçoit de *façon globale* et non raisonnée, en différenciant seulement les "grands ensembles", résulte en fait de la combinaison de différents "ordres" qui sont : *le relief* (modelé, topographie...), *la nature géologique* du substratum, *les types de sols*, *le régime des eaux*, *les processus d'érosion ou de sédimentation* et *la composante anthropique* (aménagement et utilisation du sol)...

Mais à coté de cette perception globale, le même observateur qui abordera la région pourra très bien, de façon tout aussi naturelle et non raisonnée, *acquérir une connaissance séparée* des modalités les plus frappantes de ces divers ordres. S'il a un minimum d'entraînement il différenciera *le relief* et y verra, des plaines, des glacis, des terrasses, des plateaux, des collines et des montagnes... Il remarquera aussi par ailleurs, sur un autre registre, *relatif à l'eau* cette fois, et par des informations indirectes en rapport avec la végétation, l'utilisation du sol ou les conditions d'accès, que des zones sont marécageuses, d'autres sont saisonnièrement inondables, que certaines ont une nappe phréatique proche de la surface et que d'autres régions sont toujours parfaitement drainées. Si cet observateur a quelques

connaissances géologiques et qu'il consulte la carte géologique, il apprendra que le *substratum lithologique* présente un éventail varié, composé de granites, de migmatites, de gneiss, d'amphibolites, de gabbros, de formations alluviales dites lacustres ou fluviales, et d'autres formations superficielles. *L'ordre pédologique* lui semblera non moins diversifié puisqu'il remarquera des sols rouges, ocres, jaunes, roses, blancs, gris, noirs, tourbeux, caillouteux, bien drainés (faciles à traverser) ou mal drainés (difficiles à traverser).

Notre observateur "objectif", sera plus ou moins sensible aux *processus d'érosion* ; il sera surpris en particulier par les spectaculaires "lavaka", qui éventrent les "tanety" ; il verra aussi, sans forcément faire la relation avec ces lavaka, les *zones d'épandages* de "baiboho". A toutes ces composantes "naturelles" se superposera pour lui, la *composante "anthropique"* qui se traduit par le mode de façonnement, de modification et d'utilisation du paysage par l'homme.

Ce qui manquera pourtant à cet observateur, sera le *lien* entre ces deux types de perception, l'une *globale* et l'autre *relative à des caractères particuliers*, les *relations "structurales"* liant les parties et le tout, ainsi que les parties entre elles ; autrement dit il ne fera pas de corrélations nettes entre tous les faits qu'il perçoit, il ne saura pas les "intégrer" au sein du "paysage-système".

Pourtant toutes les composantes ou "ordres paradigmatiques" du lieu (relief, roches, sols, eau, érosion,...) présentent des modalités qui ne sont pas distribuées et associées au hasard, mais qui au contraire sont en interdépendances étroites et spécifiques. Par exemple tel type de relief sera associé à tel type de roche, altérée suivant tel mode particulier, cette altération étant affectée par des dynamiques hydriques, hydrologiques et morpho-dynamiques associées de façon bien particulières, elles mêmes engendrant ce type de relief. Les processus de la nature, dans leur forme et leur dynamique, s'entretiennent mutuellement et se conditionnent par des interactions et rétroactions ("boucles") dialectiques. L'évolution finalisée des divers processus, agents et supports qui constituent ces "éléments" du milieu tend vers une auto-régulation relative, à l'intérieur du "paysage-système". La modification au-delà d'un certain seuil, d'un des éléments du paysage (par exemple descente d'une nappe phréatique, au-delà d'une certaine profondeur) ou bien une intervention extérieure (climat, tectonique...) dépassant la capacité "homéostatique" du système, engendre des crises (par exemple le couple "lavaka-baibohos") locales (sous-systèmes) ou globales, par le jeu des interdépendances et des enchainements de processus.

Le fonctionnement, la "cuisine" interne du système, caractérisés par ces multiples interactions entre processus divers, organise ce système en un réseau concret d'*unités de milieu* différenciées et ordonnées en fonction de cette logique dialectique. Les caractères et la répartition des unités de milieu donnent son "cachet" spécifique au paysage, qui le distingue d'autres paysages (voisins ou éloignés) fonctionnant différemment.

Qu'entend on exactement par "unité de milieu" (ou unité morpho-pédologique) ? Ce sont les "objets" ou "*individus*" homogènes, généralement bien identifiables sur le terrain (ce qui garantit leur réalité concrète et justifie leur différenciation), au *niveau de perception* considéré ; "Homogénéité", signifie un ensemble de composantes à modalités bien définies que l'on retrouve, pour une même unité, toujours associées, conférant à cette unité une forte cohérence, en faisant ainsi un sous-système globalement bien différencié des autres unités, aussi bien dans sa forme externe que dans son fonctionnement interne spécifique. Le "niveau de perception" autorisé dépend, d'une part de l'échelle de représentation cartographique adoptée (ici le 1/50 000) et d'autre part, du temps imparti à l'étude (ici 1 mois 1/2). Ces deux contraintes ne nous permettent pas d'aller au-delà d'une certaine précision dans la définition, la caractérisation et la taille des *unités minimales de signification*. Relativement à l'échelle de représentation, des raisons évidentes liées à la *lisibilité de la carte* nous empêchent de délimiter sur le papier des unités de taille inférieure à 1/4 de cm² en moyenne. En ce qui concerne le temps imposé pour les travaux de terrain, c'est en fait l'*expérience du "prospecteur"* qui est garante de la fiabilité de ses limites et lui permet de descendre à une certaine précision. Celle-ci pourrait d'ailleurs alors être différente d'un "observateur" à un autre en fonction de son expérience.

Cependant, la "taille" des unités n'est pas seule à entrer en compte dans cette précision ; le morpho-pédologue doit, dans sa représentation du milieu, respecter une certaine harmonie du paysage, celle-ci devant ressortir sur la carte ; cette harmonie se dégage de la "structure", de l'organisation des unités les unes par rapport aux autres. Pour cela le prospecteur devra sur le terrain "équilibrer" les *analyses détaillées ponctuelles* et le *balayage géographique* de l'ensemble de la région. Cette technique, associant analyse et synthèse provisoire quasi-simultanées, permet les *comparaisons*. En effet une bonne cartographie procède par comparaison spatiale des faits les uns avec les autres. Elle seule permet la sélection pertinente "explicative et différenciante" de ces faits, nécessaire et suffisante pour identifier des *unités de milieu* spécifiques à la région. Au sein de la légende de la carte, tableau à double entrée, chaque unité est ainsi définie par une "chaîne signifiante" ou chaîne "syntagmatique" (référence non gratuite à la linguistique structurale), visualisée horizontalement, composée d'une association de modalités spécifiques sélectionnées dans les "ordres" (ou composantes) "paradigmatiques" qui eux sont visualisés verticalement dans cette légende.

La palette des modalités de ces ordres et les ordres eux-mêmes (qualité et nombre) ne comprennent que ceux qui ont été recensés dans la région étudiée donc qui ont une signification propre dans ce contexte. Autrement dit, les unités de milieu qui résultent de leurs combinaisons spécifiques ne se définissent qu'en référence à ce système de modalités (à l'exclusion de toute autre référence extérieure) et par comparaison (opposition, complémentarité, différence. ...) des unes avec les autres. Elles n'existent que par les différences qui les opposent. Il va de soi que cela n'exclut pas, bien au contraire, leur caractérisation fine ; celle-ci est évidemment indispensable pour établir le diagnostic des contraintes agronomiques.

Seule une telle approche permet d'établir la structure du paysage, les lois de répartition entre unités, donc de résoudre le problème posé qui consiste à retrouver l'ordre à priori caché, sous un apparent "magma". La "*pertinence*" (signification et fonction spécifiques dans le contexte global du "système -paysage étudié") et la bi-polarité des *caractères* (comparables à des "mots" d'un discours), des *unités de milieu* ("phrases ou syntagmes") structurantes majeures, sont les garantes a posteriori d'une bonne analyse structurale, c'est à dire d'une bonne compréhension et traduction du paysage ("discours"). Comme exemples de bi-polarités génétiques on peut citer les couples : "lavaka/baibohos", "bas-fond marécageux/sommet de 1/2 orange ultra drainé et lessivé", "glacis de fluage concave/versant pentu et convexe de bas de tanety", "lavage" amont des argiles par flux hypodermique avec résidus sableux/colmatage aval et sols très argileux". Pour simplifier on peut dire que la genèse d'une unité de milieu s'accompagne souvent de la genèse corrélative de son "contraire", le sens du mot "contraire" étant à interpréter en termes d'oppositions qualitatives entre des morphologies, entre des états ou entre des processus. C'est entre ces "pôles structurants majeurs" (qu'il faut s'efforcer d'identifier) que l'on observe généralement

des "toposéquences ordonnées" où se passent (ou se sont passés) les processus mis en oeuvre dans les recherches d'équilibre, les réajustements consécutifs aux crises provoquées par des causes externes ou internes. Ces déséquilibres, générateurs de polarités dans la réorganisation progressive du paysage, peuvent être causés par un changement *hydrologique* (descente des nappes phréatiques, liée au creusement progressif ou discontinu du seuil de la cuvette de l'Alaotra) par un changement *phyto-climatique* (climat devenu plus contrasté et disparition de la végétation) ou par une intervention *tectonique* (affaissement localisé et dissymétrique de la cuvette).

Système et structure

Dans le titre de notre étude, figure l'intitulé "système et structure", que nous devons justifier. Pour un lecteur peu familiarisé avec la pratique de la cartographie globale du milieu physique, ces 2 concepts peuvent être mal perçus et mal individualisés *a priori*. Nous espérons que ce lecteur, s'il a le courage d'aller jusqu'au bout de cette étude, et s'il n'a pas un esprit exagérément analytique et "verticaliste", comprendra progressivement la signification de ces notions ; nous les préciserons à chaque fois que des exemples concrets se présenteront dans le cours de l'exposé concernant les unités de milieu

Dès maintenant donnons cependant quelques indications fondamentales sur ce que nous entendons, dans le domaine du paysage, par système et par structure.

. Le système fait référence au fonctionnement du paysage global, complexe et organisé ; ce fonctionnement est assuré par des processus matériels divers, de nature mécanique, physico-chimique et biologique, en constantes interactions, se traduisant par des mouvements, des transformations, des flux de matière et d'énergie. Le système est quelque chose de matériel, de "vivant", temporel et en évolution, soumis à des phases de stabilisation (homéostasie), de transformations internes, de perturbations, de crises (d'origine interne ou externe), de périodes de réajustement locales ou de totale réorganisation. Les "processus" matériels interagissent entre eux et se régulent de façon "multi-dialectique". Le système a donc une *histoire*, il doit être considéré dans sa genèse comme dans ses transformations ultérieures. Son étude doit se faire dans une optique "diachronique" ; elle ne peut être statique et se figer dans un état instantané. Le système constitue la *réalité concrète* ; mais cette réalité n'est pas facilement reconstituable et directement accessible à nos investigations empiriques, à cause de nos difficultés, d'une part à concevoir une telle dialectique multiple des processus naturels en interactions et rétroactions (nous raisonnons et pensons de façon linéaire) et d'autre part, ce qui est lié, à envisager une échelle de temps autre que la notre pour appréhender la dynamique de la nature. La genèse du paysage ne peut être connue que par les indices laissés par les processus passés et par l'observation de processus actuels. Pour ces diverses raisons l'utilisation du principe de causalité et de la logique déductive "classique" dans le domaine des systèmes naturels complexes est dangereuse et peut conduire à des erreurs.

. La structure du paysage fait référence à son organisation synchrone (actuelle), c'est à dire à la façon dont sont ordonnés les faits observables qui composent ce paysage, depuis les caractères simples (taches d'hydromorphie d'un sol par exemple) jusqu'aux formes plus complexes et globalement perceptibles comme les unités de milieu. La structure ne s'intéresse donc pas directement aux processus matériels du paysage, mais à leurs manifestations réalisées, c'est à dire à leurs représentations, leurs signatures, et plus spécialement aux relations qui unissent ces représentations. D'autre part, ces signes, indices, héritages, empreintes... ne sont pas considérés individuellement ; la structure résulte de leurs combinaisons. Leurs significations individuelles en tant que faits isolés du contexte, sont faibles comparées aux significations qu'ils acquièrent quand ils sont associés, opposés et comparés les uns avec les autres. On peut donc dire d'une certaine manière que la structure, contrairement au système "vivant" fonctionnel, est une réalité abstraite, puisqu'elle consiste en un réseau de relations. Elle est, "topologique", immatérielle et intemporelle. Cela ne veut pas dire qu'une structure ne se transforme pas dans le temps ; il est évident qu'elle est le résultat d'une histoire, puisque ses éléments eux-mêmes évoluent dans le système. Cela veut dire que la structure peut trouver sa signification en elle-même à tout moment, de par la logique relationnelle interne qui organise ses éléments ; nous pouvons accéder à cette signification (on pourrait parler de "langage"), sans être dans l'obligation de considérer les étapes antérieures ni les histoires séparées de ces éléments. Dire qu'un système diachronique possède une structure est équivalent à dire qu'il possède une signification globale synchronique. A tout moment, les "éléments de signification" ont donc leur fonction propre dans la structure et aucun n'est distribué au hasard, quelle que soit d'ailleurs l'état de stabilité actuel (crise, réajustement, homéostasie) du paysage-système. L'ordre est dans la nature, mais cet ordre se transforme par le fait de la dynamique interne du système (altération hydrolytique, pourrissement progressif des roches, creusement des seuils...) ou des interventions "extérieures" (climat, tectonique, homme...) qui tendent à perturber son fonctionnement "normal". Nous verrons que des considérations cybernétiques ne seront pas inutiles pour comprendre ces recherches d'équilibre, comment des transformations physico-chimiques locales se répercutent dans le paysage ; la transmission (le "relais") de cette "information" se fait avec des retards (hystérésis), amortissements, perturbations ("bruits") liés à l'éloignement, aux discontinuités diverses (par exemple la litho-structure différentielle du socle géologique, avec ses lames transversales de roches granitiques plus dures), aux changements des rapports de force entre les divers processus en interactions. Enfin il faudra prendre en compte la "rémanence" différentielle des empreintes des processus matériels sur le milieu, même quand les rapports de force (interactions) entre ces processus ont changé. Suivant la nature de ces traces, elles s'effacent et se transforment plus ou moins vite en même temps qu'évolue le paysage. Les degrés de "pureté" ou de "surimposition" des héritages seront à déterminer avec soin.

En définitive, l'étude cartographique globale et transdisciplinaire du paysage (interdisant de séparer artificiellement les thèmes "disciplinaires") justifie la distinction que nous avons faite entre système et structure qui sont deux notions complémentaires. Le système n'est accessible et compréhensible que par l'intermédiaire de son analyse structurale qui aide à la reconstitution chronologique de sa genèse.

Une telle approche des *systèmes de paysages* présente beaucoup de convergences avec les "*méthodes structuralistes*" appliquées aux *systèmes symboliques des Sciences Humaines*, en particulier la linguistique structurale (DE SAUSSURE, R. JAKOBSON) et l'anthropologie structurale (C. LEVI-STRAUSS) ; cette "*méthode*" a renouvelé et enrichi, à une époque récente, les fondements et les acquis de ces disciplines, sur lesquels se sont appuyés leurs développements ultérieurs et ceci, malgré quelques "*critiques*" rétroactives inévitables. L'étude du milieu physique, dans sa complexité, peut être envisagée dans une optique et un état d'esprit comparables et nous avouons nous en être inspirés, sans oublier évidemment la spécificité irréductible de notre objet d'étude, les analogies ne devant pas cacher les profondes différences et justifier des transpositions outrancières ; les analogies conceptuelles et méthodologiques avec la linguistique expliquent que nous ayons fait quelques emprunts de vocabulaire à cette discipline ; il serait en effet inutile et stupide de recréer des mots, quand leur extension à d'autres champs disciplinaires où ces concepts manquants sont reconnus, ne s'accompagne pas de changements importants de sens. Naturellement, une telle pratique s'expose à la critique de la part des deux camps, par leurs partisans fermés à de tels amalgames transdisciplinaires, jaloux de leurs domaines linguistiques respectifs et intolérants à toute "*invasion*" (surtout entre les Sciences Humaines et les autres, c'est à dire les "*inhumaines*" qui se prétendent pures, objectives et rigoureuses !).

La particularité essentielle des "*éléments*" qui constituent le système du milieu physique par rapport aux "*éléments*" des systèmes linguistiques ou ethnologiques, est qu'on ne peut se contenter de considérer et de traiter les premiers comme des "*symboles*" au même titre que les seconds. Ce sont des faits matériels très concrets qui constituent le cadre physique de l'activité humaine, en particulier de l'agriculture. Il faut donc décrire ce qu'ils sont "*en soi*", pour en dégager les contraintes et facteurs favorables, savoir comment les utiliser au mieux, en dégager leur genèse pour essayer d'en prévoir leur évolution. Cela nécessite l'approche *systémique*. Mais celle-ci est aidée par l'*analyse structurale* qui est en effet également permise quand on confère au "*fait*" observé, source d'interrogations et de sujétion, un statut de "*symbole signifiant*" (dans un sens général) c'est à dire considéré comme le résultat et donc la représentation d'un processus matériel passé ou en cours ; les relations entre éléments de la structure, considérés alors comme symboles, se prêtent alors à des traitements formels, dont les résultats, retraduits ensuite en "*langage réel*" c'est à dire en termes de processus "*nécessaires*" (logiquement déduits) pourront peut être faire avancer la connaissance de ceux-ci, orienter les recherches, nous aider à agir efficacement et rationnellement sur le milieu.

L'ENVIRONNEMENT RIZICOLE

1 - SITUATION GENERALE

La population agricole de la cuvette et de sa périphérie (non compris les 20 000 habitants de la "capitale" Ambatondrazaka) est de l'ordre de 180 000 habitants, soit environ 35 000 familles, cultivant au total 60 000 hectares de rizières : 45 000 hectares en périmètres d'irrigation "modernes" mais plus ou moins efficaces actuellement (dont 30 000 pour la S.O.M.A.L.A.C.) et 15 000 hectares en périmètres "traditionnels" peu aménagés).

La production rizicole annuelle sur cette superficie est de l'ordre de 150 000 tonnes, dont 75 000 à 100 000 tonnes sont commercialisées, représentant le tiers du total National. En théorie l'exploitation rizicole moyenne, tous modes de faire valoir et types de production confondus, a une superficie de 2 hectares (4 à 5 ha pour la SOMALAC, généralement moins de 1 ha pour le "secteur traditionnel"); le rendement moyen est de 2,5 t/ha (2 t/ha pour le riz à semis direct, 3 t/ha pour le riz repiqué). En réalité, les conditions d'exploitation montrent une extrême disparité liée à l'histoire très complexe de la mise en valeur de la cuvette où coexistent un "secteur traditionnel" et un secteur "grands périmètres aménagés". Pour ce dernier, la superficie moyenne par exploitation est de 4 hectares. D'autre part, les rendements sont conditionnés par la fertilité naturelle des terres et la maîtrise de l'eau, c'est à dire le fonctionnement du réseau hydro-agricole, celui-ci laissant beaucoup à désirer par manque d'entretien et par ensablement des barrages et prises d'eau. Les meilleurs rendements (la maîtrise de l'eau étant supposée assurée), sont vraisemblablement obtenus sur les "baibohos" (plaines de la Mananamontana, de la Sasomangana et de l'Ilakana par exemple) ; la fertilité des sols décroît ensuite depuis ceux du cône de l'Anony puis ceux du PC 15, de la S.O.R.I.F.E.M.A., jusqu'à ceux du PC 23.

La principale variété cultivée dans la région du lac Alaotra est le "Makalioka 34". C'est une variété de luxe, à grain long, très appréciée pour l'exportation mais également de plus en plus, pour la consommation locale. Ce riz, sélectionné par la Station agricole dès 1932, mais généralisé que vers 1968 à l'ensemble du paysannat (90 % à l'heure actuelle), est une variété photo-sensible, à haut rendement, à cycle long (190 jours) et assez sensible à la verse. Il est très bien adapté à l'écologie de la région, tant qu'il constitue le seul cycle cultural annuel envisagé. Quand on pense à la double culture annuelle (double riz ou riz + culture de contre saison), la longueur de son cycle et les exigences de son photo-périodisme strict sont alors des contraintes. En effet sa floraison est régulièrement et quasi-impérativement située autour du 1er avril et sa récolte (1 mois 1/2 après) vers le 15 mai. Le semis doit donc se faire en novembre (repiquage 1 mois plus tard avant tallage, donc en décembre). Plus il est tardif,

plus le rendement décroît. Le riz, une fois récolté (à la main), est mis à sécher en gerbes sur les parcelles mêmes, avant le battage qui se poursuit jusqu'en août. Pendant cette période les boeufs parcourent les rizières. Après quoi celles-ci sont labourées pour la campagne suivante, à la charrue (brabant lourd) tirée par les boeufs ; le sol reste aéré en grosses mottes, jusqu'à la mise en boue et au hersage qui précèdent le semis ou le repiquage. Ceux-ci ne sont généralement plus réalisés en lignes, ce qui, en l'absence de desherbants chimiques, est un obstacle au sarclage et au desherbage, problème crucial, particulièrement grave pour le riz à semis direct. C'est une des causes de la chute du rendement. La pratique du repiquage n'est pas généralisée dans la région ; en 1983, on estimait que 50 % seulement des rizières étaient repiquées, le reste étant en semis direct. Le repiquage est cependant majoritaire pour le secteur "traditionnel" (60 %), alors qu'il est globalement minoritaire (40 %) dans les périmètres de la SOMALAC (bien que cela soit très variable d'un périmètre à un autre et d'un site à un autre sur chaque périmètre). Ce faible taux de repiquage peut paraître surprenant compte tenu des avantages qu'offre cette technique (meilleurs rendements, moins d'adventices...) et des traditions malgaches. Sur les secteurs traditionnels, le déficit en eau d'irrigation et la résistance encore nette de la population d'origine Sihanaka vis à vis du repiquage, peuvent expliquer cet état de fait. Sur les casiers SOMALAC il semble qu'il faille mettre en cause, en plus de la mauvaise répartition actuelle de l'eau, d'une part l'inaptitude à cette pratique des tourbes non colmatées en cours de tassement (spécialement sur le PC 23) et d'autre part la taille excessive des exploitations (4 hectares). Un riz à semis direct est en effet moins exigeant du point de vue mise en eau et planage des rizières ; d'autre part le repiquage demande une main d'oeuvre supplémentaire coûteuse, exigeant une embauche salariée, que ne peut pas toujours supporter l'exploitant.

Dans ce contexte, l'introduction des cultures de contre-saison (blé en particulier) dans les rizières ou la double culture annuelle de riz, se heurtent à de grosses difficultés dues essentiellement aux impératifs du calendrier du Makalioka ; les travaux culturels pour la campagne d'un blé de contre saison ne peuvent se faire dans les meilleures conditions que dans la période 15 mai - 15 octobre, à condition toutefois de résoudre les problèmes séchage-battage du riz et pacages des troupeaux. Quand on sait l'extrême soin qu'il faut accorder pour le blé à la bonne préparation (drainage, problèmes des résidus de récolte après le riz, émottage...) du sol et du lit de semences, on ne peut guère espérer semer dans de bonnes conditions avant début juin, ce qui est déjà tard. Plus on retardera le semis, plus la phase de maturation débordera sur la saison chaude qui arrive dès fin août, et donc plus on craindra l'échaudage et on s'exposera à de faibles rendements.

Un des objectifs de la recherche agronomique est de trouver des solutions alternatives à la culture unique du Makalioka qu'il n'est toutefois pas envisageable de changer totalement compte tenu de son adaptation au contexte écologique et socio-économique du lac ; est-il plus avantageux de

préconiser, lorsque le milieu hydro-pédologique le permet, une double culture (riz-riz, riz-blé, riz-fourrages...) mais en remplaçant alors le Makalioka par une variété à cycle plus court ou à moindre exigence photo-périodique ? Les calages de calendriers ne sont pas les seuls problèmes liés à cette intensification : il y a des *difficultés climatiques* liées aux températures (la saison sèche peut être, à certaines périodes, trop fraîche pour le riz ou au contraire trop chaude pour le blé), des *difficultés hydriques* (alimentation en eau des rizières en dehors de la stricte saison pluvieuse et surtout des cultures de contre-saison proprement dite, existence d'une "capillarité de ressuyage"), des *difficultés pédologiques* (tassement irrégulier des sols tourbeux...), des *difficultés agronomiques* (variétés, alimentation minérale, surtout azotée, du blé sur sols organiques non suffisamment réoxydés, préparation du sol, problèmes phytosanitaires, de mauvaises herbes...), des *difficultés sociologiques* (changements dans les habitudes concernant le battage du riz et l'élevage par exemple, ententes coopératives etc...).

Vouloir éliminer toutes les contraintes à la fois est illusoire. Penser pouvoir rassembler par exemple dans tous les domaines les conditions favorables à l'introduction du blé de contre saison sans irrigation est impossible, en particulier concernant le sol et l'eau, nous le verrons (sauf rares cas particuliers sur les "baibohos"); il faudra faire des choix et se satisfaire de compromis. D'autre part il serait certainement possible de penser aux cultures irriguées de saison sèche. Cela exigerait naturellement (comme pour l'intensification de la riziculture), de remettre en état et de gérer peut être de façon différente le réseau d'irrigation existant, d'évaluer correctement, et si possible d'améliorer, la capacité des réservoirs actuels, et pourquoi pas de mettre à profit, dans certaines conditions, l'eau du lac par pompage. Une exploitation des terres en régie en saison sèche serait alors sans doute mieux adaptée qu'un système dépendant de la volonté individuelle aléatoire de chaque attributaire pour l'utilisation de l'eau. La technique alternative du "pivot" pourrait alors résoudre la contrainte structurelle de l'utilisation anarchique du réseau d'irrigation.

Un des buts de cette étude est d'aider les responsables du développement à faire ces choix et à hiérarchiser les problèmes, en leur donnant si possible une idée claire, qualitative et spatiale, de ce que tolère ou ne tolère pas le milieu physique, considéré comme un système global, de leur permettre d'évaluer quels sont les avantages relatifs, les risques, les incertitudes de telle ou telle intervention sur ce milieu.

2 - HISTORIQUE

Rappelons l'historique rapide du peuplement et de la mise en valeur de la cuvette.

Les plus anciens occupants connus de la région du lac Alaotra ont été les *Sihanaka*. Ceux-ci, dès le 16^{ème} siècle, formaient des noyaux dispersés de pêcheurs, riziculteurs et éleveurs. Ils pratiquaient une riziculture "rustique", sur "tavy", c'est à dire sur collines après brulis

de la végétation naturelle, et non une riziculture aquatique évoluée telle qu'elle était connue des Merina des Hautes Terres centrales. Beaucoup de ces foyers Sihanaka étaient groupés sur les crêtes des reliefs orientaux et Sud-Orientaux dominant la cuvette, où subsistent de nos jours de nombreuses traces de leur habitat défensif (sites fortifiés à fossés de protection) ; d'autres foyers étaient disséminés dans les marécages, en particulier sur les "Ilots" de Mahakary et d'Anororo, qui sont, encore à l'heure actuelle, entièrement Sihanaka et qui ont conservé leurs traditions d'origine. Ce type d'habitat retranché, sur les crêtes ou dans les marais, était probablement la conséquence des raids Sakalava qui, au 18^e siècle, ratissaient de façon chronique les Hautes Terres, en provenance de l'Ouest de Madagascar. La région occidentale de la cuvette, plus vulnérable aux attaques était alors pratiquement inhabitée.

Les choses changèrent lorsque le pays Sihanaka fut conquis et "pacifié", au début du 19^e siècle, par le roi Radama I^{er} et annexé au Royaume Merina. Des postes administratifs et militaires furent créés autour de la cuvette, spécialement à Imerimandroso, Ambatrondrazaka, Amparafaravola et Ambohijanahary. A partir de cette époque, les pourtours de la cuvette se peuplent de façon irrégulière, d'abord sur les "promontoires" en pentes douces qui s'avancent dans la plaine, puis dans cette plaine elle-même, soit par les Sihanaka qui sortent de leurs sites défensifs, soit par les immigrants Merina. Au début du 20^e siècle, l'arrivée de l'Administration Française et des premiers colons accélèrent cette mobilité. Au Sud de la cuvette se forment des agglomérations "mixtes" Sihanaka-Merina, alors qu'au Nord s'observe un redéploiement plus exclusivement Sihanaka. La population était évaluée à 30 000 habitants en 1900. Malgré les difficultés du milieu physique les Merina ont importé dans cette région leurs techniques de riziculture aquatique repiquée, plus évoluée et intensive que celle des autochtones.

Le potentiel rizicole que représentent les immenses terres marécageuses périphériques au lac, commence à être réellement perçu à partir de 1920. C'est alors que la colonisation européenne s'en mêle. L'intérêt économique de la région justifia la construction du chemin de fer Moramanga-Andreba. Celui-ci entraîna alors un important essor démographique. La colonisation commença, à partir de 1920, par les terres non marécageuses, comme les zones planes et "hautes" à sols jaunes et les "baibohos" du Sud, près de Vohidiala (Compagnie Générale de Madagascar, devenu par la suite la S.O.R.I.F.E.M.A.) sur lesquels on produisait des cultures industrielles autres que le riz (tabac, arachide et surtout manioc). La construction de la station agricole d'Ambohitsilaozana date de 1921 ; elle était destinée à aider l'implantation des colons européens. Jusqu'à la deuxième guerre mondiale, la production rizicole proprement dite a été surtout le fait des immigrants Merina dont beaucoup à l'origine constituaient une main d'œuvre salariée dans les concessions et usines (huileries, féculeries, rizeries...) ; ceux-ci ont commencé dans la région occidentale de la cuvette, la moins inhospitalière, où la bande marécageuse était la plus large et offrait donc le maximum d'opportunités de cultures, et surtout sans emprise et droits d'usage sihanaka. Ainsi en 1930, la production de paddy était de l'ordre de 10 000 tonnes, elle atteignait 40 000 tonnes en 1933.

Cependant beaucoup de concessions européennes furent également accordées à partir de 1930 (il en existait 39 en 1937) mais leur mise en valeur réelle, eu égard aux innombrables difficultés d'aménagement par des colons isolés, ne commença, pour la plupart, qu'après 1940. Il fallait attendre 5 à 6 ans avant d'atteindre une production correcte. Ainsi, une des premières concessions rizicoles européennes fût attribuée en 1931 à Andramosabe, sur le cône de l'Anony. Les travaux de drainage et d'irrigation à grande échelle ne commencèrent que vers 1950, avec la technicité des Services du Génie Rural. Le premier grand projet d'aménagement date cependant de 1922 ("projet LONGUEFOSSE") ; trop coûteux, il n'eût pas de suite. En 1948, vint le projet de la Société NEYRPIC qui reprit en partie le projet LONGUEFOSSE. C'est de cette époque que date (1949) la première reconnaissance pédologique de la région (cartes à l'échelle du 1/50 000 de J. RIQUIER et P. SEGALEN).

Les travaux réels commencèrent en 1950, entrepris par la C.G.M. (Compagnie Générale de Madagascar) sur les marais de Vohidiala, avec drainage, irrigation et planage des rizières disposées selon les courbes de niveau. Ces aménagements furent étendus par le Génie Rural sur le PC 15, le périmètre de Sahamaloto et le PC 23. En 1960, au total, 21 000 hectares sont aménagés : 7 000 sur le PC 15, 8 000 sur la Sahamaloto, 6 000 sur le PC 23 ; les grands drains sont creusés (en particulier le grand drain de Mahakary), les barrages-réservoirs de Sahamaloto et d'Antanifotsy (PC 15) sont construits, alors que sur le cône de la Sahabe (PC 23) les terres étaient irriguées par une prise au fil de l'eau sur la rivière.

Une étape importante dans l'Histoire de la région est la création de la S.O.M.A.L.A.C. (Société Malgache d'Aménagement du Lac Alaotra) ; cette société, conçue en 1960 entra en activité en 1961. Créée à un moment crucial où la décolonisation s'amorçait et où la plus grande incohérence régnait quant à l'exploitation des plaines, pour laquelle n'existait aucune coordination globale des aménagements et des types d'exploitation, la SOMALAC avait alors pour objectifs de rationaliser, en les restructurant, les aménagements existants, d'en créer de nouveaux pour étendre les superficies rizicultivées (10 000 hectares nouveaux ont été aménagés entre 1963 et 1983), d'installer les nouveaux arrivants sur ces terres en cours de colonisation, de gérer la distribution de l'eau et le drainage, d'encadrer les producteurs, de leur assurer une assistance financière et de favoriser la commercialisation des produits. Les difficultés foncières ont été innombrables quant à l'attribution et à la redistribution des terres réparties entre celles appartenant aux anciens occupants qui voulaient conserver et faire valoir leurs droits, les concessions rachetées aux colons européens qui quittaient la région, et enfin les "terres neuves" récupérées sur les marais dont le potentiel rizicole était très faible à nul au départ avant de ne s'améliorer qu'au fil des années. Ces problèmes fonciers et d'intendance se sont croisés avec les multiples difficultés techniques dues à la création et à la fonctionnalité progressive des aménagements qu'il a fallu reconsidérer et restructurer à plusieurs reprises en même temps que le "système" s'élargissait, que les problèmes agronomiques apparaissaient et que les services d'encadrement et d'approvisionnement étaient de plus en plus dépassés.

Les coûts de l'énorme infrastructure d'encadrement, d'approvisionnement et de commercialisation, des aménagements à refaire à plusieurs reprises, des crédits alloués aux producteurs, non recouverts par les redevances dues contractuellement par les paysans dont la production était insuffisante, et enfin une mauvaise gestion, ont fait que l'Entreprise a coûté très cher et que sa rentabilité économique n'a jamais été possible jusqu'à présent.

L'ensablement et le manque d'entretien des barrages, prises d'eau et canaux ainsi que l'indiscipline des attributaires font qu'en 1983, sur les 30 000 hectares théoriquement aménagés de la SOMALAC, seulement 18 000 hectares étaient irrigués correctement et pleinement productifs.

Le paysannat "traditionnel" qui ne dépend pas de la SOMALAC est encadré par la CIRVA (Circonscription de vulgarisation agricole) qui intervient sur environ 33 000 hectares, environ 25 000 familles.

3 - REPARTITION ACTUELLE (1983) DES TERROIRS RIZICOLES

Pour clarifier et schématiser les choses, les 60 000 hectares rizicultivés dans la cuvette et ses vallées adjacentes étaient répartis en 1983 approximativement de la façon suivante :

3. 1. PERIMETRES SOMALAC

Les 30 000 hectares aménagés occupent les zones suivantes :

- . PC 23 : superficie 11 000 ha. Irrigué par des prises d'eau sur la Sahabe et sur la Sahamamy, concerne 3 067 attributaires. Superficie moyenne par exploitation : 4 hectares. Riziculture peu intensive, grosse proportion de semis direct, rendements faibles (problèmes de sable et de tourbe mal tassée, donc d'alimentation en eau, faible fertilité). Prépondérance de sols hydromorphes tourbeux (sauf près d'Ambongalava).
- . PC Nord (Anony et Sahamaloto) : Superficie 15 000 ha (environ 10 000 pour l'Anony, 5 000 pour la Sahamaloto). Irrigués à partir d'un barrage de diversion sur l'Anony et d'un barrage-réservoir sur la Sahamaloto, avec problèmes importants d'ensablement. Concerne 33 000 attributaires. Superficie moyenne par exploitation : 4 à 5 hectares. Riziculture assez intensive. Au moins 60 % de repiquage. Rendements corrects (pas de problème de tourbe mal tassée, mais localement zones sableuses). Prépondérance de sols hydromorphes minéraux et sols moyennement organiques.
- . PC 15 : superficie 2500 ha. Irrigué à partir du barrage-réservoir d'Antanifotsy situé en amont de la plaine de la Sasomangana. Concerne 942 attributaires. Superficie moyenne par exploitation : 2,5 hectares. Riziculture assez intensive. Majorité de riz repiqué. Rendements assez élevés et réguliers, malgré quelques problèmes de distribution de l'eau (travaux d'amélioration commencés en 1983). Sols argileux moyennement organiques.

- . *Périmètre de la Mananamontana (Ambendrika)* : superficie 1 500 ha. Irrigué à partir d'une prise d'eau sur la Mananamontana. Concerne 1 500 tributaires. Superficie moyenne par exploitation, faible : 1 ha. Riziculture intensive. Majorité de riz repiqué. Rendements élevés. Travaux d'infrastructure récents. Sols de "baibohos".

3. 2. LE SECTEUR TRADITIONNEL AMENAGÉ, ENCADRÉ PAR LA CIRVA

Il comprend les zones, évaluées à 11 500 hectares, qui ont été l'objet de travaux importants d'hydraulique agricole, plus ou moins fonctionnels actuellement :

- . *Périmètre Imamba-Ivakaka (Amparafaravola)* : superficie 5 000 ha. Irrigué à partir de prises d'eau sur l'Imamba et sur l'Ivakaka. Difficulté d'alimentation en eau, mais travaux d'amélioration en cours.
- . *Périmètre de la Sasomangana* : superficie 4 700 ha. Irrigué irrégulièrement à partir du barrage réservoir d'Antanifotsy (mais priorité au PC 15 qui prolonge cette zone en aval), sol de "baibohos".
- . *Périmètre d'Andranobe (plaine d'Amboavory)* : superficie 800 ha. Devait être irrigué à partir du barrage d'Andranobe, mais celui-ci a un remplissage insuffisant (petit bassin versant); il y a donc un manque d'eau. Sols de "baibohos" en amont, plus organiques en aval.
- . *Périmètre de Morafeno (au Nord)* : superficie 500 ha, prise d'eau sur le barrage de Morafeno qui se remplit insuffisamment, donc manque d'eau. Sols de "baibohos".
- . *Périmètre de la Lovoka (au Nord-Est)* : superficie 500 ha. Prise d'eau sur la Lovoka. Alimentation en eau relativement bonne. Sols hétérogènes ("baibohos" argileux + sols hydromorphes minéraux argilo-sableux).

3. 3. LE "SECTEUR TRADITIONNEL" PEU AMENAGÉ, ENCADRÉ PAR LA CIRVA

Ces zones, d'une superficie totale d'environ 15 000 hectares, n'ont pas encore été l'objet d'importants travaux hydrauliques ; elles constituent l'essentiel du restant du terroir rizicole, à savoir les plaines suivantes :

- . *Plaine de l'Ilakana (Sud)* : superficie 4 000 ha. Sols à majorité de "baibohos" (sauf en aval).
- . *Plaine de l'Androgorona (Est)* : superficie 500 ha. Sols de "baibohos".
- . *Plaines de la Mavolava et de la Sahabe (Sud-Ouest)* : superficie 2 500 ha. Sols de baibohos au Sud, hydromorphes minéraux argileux ou argilo-sableux ailleurs.
- . *Plaines de la Sahamilahy et de l'Ampondra (Sud Ouest)* : superficie 1 500 ha.

- . Plaines de l'Ampasimena et de l'Asahamena (Morarano-chrome) :
superficie 575 ha.
- . Plaine de la Behengitra (Ouest) :
superficie 225 ha.
- . Plaine de la Bemarenina (Ambodifarihy) :
superficie 850 ha.
- . Plaine de Sahamamy (Ouest) :
superficie 300 ha.
- . Plaines d'Ampasika-Vohitraivo (Nord) ;
superficie 750 ha.
- . Plaine de l'Andranofotsy (Nord) :
superficie 325 ha.
- . Plaine d'Andingadinga (Lohofasika-Est) :
superficie 1 500 ha.
- . Petites plaines dispersées (moins de 250 ha chacune). Elles concernent les gouttières et culs-de-sac de plus de 300 mètres de large qui prolongent, entre les reliefs périphériques amont, les plaines énoncées précédemment (surtout à l'Ouest et au Sud-Ouest de la région) et qui n'ont pas été comptabilisées dans ces dernières. Elles comprennent aussi les rizières qui, dans les grandes plaines, jouxtent les grands périmètres aménagés, sans profiter de leur infrastructure. Globalement la superficie de cet éparpillement de terroirs rizicoles est évaluée à 2 000 hectares.

3. 4. LE PERIMETRE S.O.R.I.F.E.M.A. (Ranofotsy-Lohafosika Ouest) ;

Superficie 3 500 ha (sols hydromorphes argileux tourbeux, "baibohos" en amont). Irrigué par prises sur la Ranofotsy (Maningoro) et sur la Lohafasika-Ouest. Ce périmètre correspond à l'ancienne concession de la C.G.M. (Compagnie Générale de Madagascar), une des premières aménagées. La partie de ce domaine, située au Sud-Est de Vohidiala, sur les baibohos de la Lohafasika-Ouest, est cultivée en manioc et ne rentre donc pas dans les 3 500 ha mentionnés.

ROCHES ET FORMATIONS SUPERFICIELLES

I - LE SOCLE CRISTALLIN

Le substratum est composé d'une majorité de roches cristallines métamorphiques : gneiss, migmatites, granites d'anatexie, amphibolites, cipolins... Ces roches sont d'âge précambrien ; elles résultent de la transformation d'anciennes roches sédimentaires stratifiées (schistes, grès, argiles, calcaires) ou volcaniques (basaltes, dolérites) impliquées dans la formation des chaînes de montagnes (orogénèses) ; plusieurs "cycles orogéniques", séparés par des phases d'érosion (aplanissements), se sont succédés aux époques Précambrienne et primaire, pendant lesquelles les roches ont été plissées, cassées, charriées, etc..., en même temps qu'elles étaient soumises à des conditions de très fortes pressions et températures et qu'elles subissaient un métamorphisme plus ou moins intense, variable selon la roche d'origine. Ce métamorphisme se traduisait en particulier par une *cristallisation* de minéraux et des foliations. La disposition relative des strates sédimentaires originelles a souvent été conservée malgré le métamorphisme différentiel qui les affectaient. Ces anciennes chaînes de montagnes ont subi de nombreux "rahotages" lors des divers cycles d'aplanissement ; à l'heure actuelle il ne reste que les "racines" des plissements et cassures où on peut, grâce à l'altération différentielle et aux modelés dégagés qui en résultent, reconnaître des structures synclinales ou anticlinales, des pendages, des linéaments etc... Les géologues reconstituent alors les périodes orogéniques anciennes dans les roches métamorphiques en parlant de "systèmes" ; à l'intérieur des systèmes, les ensembles lithologiques sont différenciés en "groupes"

Suivant leur degré de métamorphisme et la nature de leurs minéraux, les roches présentent une altérabilité spécifique, en intensité (vitesse d'approfondissement du front d'altération) et en nature (types d'argiles, proportions de sable quartzeux, teneur en fer,...). Ces altérabilités, dans la plupart des cas, logent des nappes phréatiques qui, nous le verrons, ont un rôle fondamental sur leur morphodynamique. Cette altérabilité (donc érodibilité) différentielle des roches aura une influence considérable sur la morphologie actuelle du paysage. L'échelle de "résistance à l'évidement" (c'est à dire à l'altération hydrolytique puis au déblaiement consécutif par des processus divers, le "fluage" en particulier) des principales roches de la région est la suivante : granite - migmatite - amphibolite - gneiss. Ainsi, les reliefs allongés signalent souvent les lames de granites à pendage redressé interstratifiées dans les gneiss et migmatites qui eux, spécialement les gneiss, se sont altérés plus vite, ont subi une dynamique de déblaiement plus rapide et dont les modelés (fouillis de collines convexes en "demi-oranges") occupent donc des positions plus basses, alvéoles ou gouttières. Cela sera particulièrement net au Sud de la région. Une même disposition se verra pour le couple "amphibolite-gneiss amphibolitique", roches associées au Nord Est de la région étudiée. Nous verrons que les amphibolites, moins rapidement altérées, se signalent par des rides ou dômes allongés, dominant les collines plus basses sur gneiss à amphibole.

En dehors de ces roches métamorphiques "stratoïdes" (anciennement plissées), il faut également distinguer des roches éruptives intrusives (pouvant elles-mêmes avoir subi postérieurement un certain métamorphisme) qui elles, ont traversé, généralement après les orogénèses, les roches encaissantes plus anciennes. Ces roches intrusives, non impliquées dans les plissements forment alors des ensembles bien circonscrits, assez homogènes (batholites granitiques ou gabbroïques). Dans la région du lac Alaotra, ce type de roche est constitué par des gabbros d'âge Précambrien qui constituent quelques gros massifs au Nord de la cuvette. De ce type, mais cette fois très récents et très localisés, sont les basaltes ("ankaratrites") quaternaire qui dominent Amparafaravola.

Pour être très schématique, la région du lac Alaotra est concernée par deux grands systèmes majeurs d'âge Précambrien, par ailleurs les plus largement représentés sur les Hautes Terres centrales Malgaches :

- le "système du Vohibory"
- le "système du graphite".

Ces deux systèmes présentent une même orientation structurale, globalement NNW-SSE.

1. Le système du Vohibory

Ce complexe caractérise la région orientale et la région Nord de la cuvette ; il est composé d'une prédominance de roches riches en minéraux basiques : amphibolites, gneiss à amphiboles ("mélanocrates"), gabbros (ensemble appelé par les géologues de Madagascar, "groupe de Beforamba"). C'est dans ce groupe que se situent les principaux gisements de chromite et de nickel du pays, en particulier ceux d'Andriamena, à l'Ouest de la région (exploitation provisoirement arrêtée) et ceux, jadis exploités, de Nickelville (25 kilomètres à l'Est d'Ambafondrazaka). Ces roches métamorphiques stratoïdes (gneiss et amphibolites), auxquelles s'ajoutent des roches intrusives (gabbros), font partie d'un vaste "synclinerium". Les roches "basiques", par leurs altérations rouge sombre, argileuses, relativement pauvres en sables quartzeux, à nappe phréatique absente ou discontinue (localisée exclusivement dans les gneiss amphibolitiques), sont à l'origine de types de milieu spécifiques, par leurs modèles, leurs sols (rouges argileux relativement plus fertiles que sur roches acides), leurs systèmes d'érosion (mouvements de masse et ravinements, dominant sur les "lavaka") et donc leurs aptitudes agricoles. Plus le substratum géologique est composé de gabbros et d'amphibolites homogènes (sans interstratifications gneissiques) et plus les reliefs sont élevés ou en position dominante. Ainsi les gros massifs du Nord de la région, dont de typiques représentants sont l'Ankitsika, le Mahatsinjo et l'Ambohidahibe, sont constitués de gabbros. De même, dans la région Nord-Orientale (au Sud d'Andromba) les rides et dômes allongés NNW-SSE sont composés en majorité d'amphibolites. A l'inverse, plus le substratum est gneissique (gneiss à amphibole) donc relativement riche en sable quartzeux, plus les reliefs sont situés en position basse par rapport aux précédents.

Les modelés sont alors marqués par de fortes convexités. Une telle différence d'évolution, qui fait que les gneiss "s'abaissent" plus rapidement que les roches purement basiques, est due à la présence, dans les altérites gneissiques ("roches pourries") de réserves aquifères qui engendrent des approfondissements plus rapides et des processus de fluages d'altérites, favorables à l'évacuation des matériaux.

La structure du modelé et la nature des altérations révèlent la structure géologique ; elles sont donc d'excellents critères de différenciation des roches sous-jacentes, même si celles-ci sont rarement visibles dans leur état sain ; les plaines et vallées encastrées et "canalisées" par des hauteurs amphibolitiques ne sont généralement pas distribuées au hasard ; elles résultent de l'évidement différentiel des gneiss et de la mise en relief corrélative des roches basiques voisines associées aux gneiss dans les séries stratoïdes ou en intrusion ; ces évidements, actuellement occupés de matériaux hydromorphes flués (résultant de la redistribution des altérites) ou d'alluvions, sont donc très étroitement déterminés par la structure et la lithologie du socle.

2. Le système du graphite

Ce système, qui caractérise aussi une grande partie du socle des Hautes terres du pays, est présent dans les régions occidentales et méridionales de la cuvette ; il se différencie bien du système précédent, par la prédominance des roches dites "acides" c'est à dire quartzes, pauvres en minéraux basiques : gneiss (sans amphibole mais à biolite, sillimanite et graphite) migmatites, granites. Ces granites ne sont pas des granites intrusifs mais des roches stratoïdes fortement métamorphisées où les alignements de minéraux (contrairement aux gneiss et aux migmatites qui leurs sont associés et interstratifiés) ont disparu. A l'est du grand escarpement de l'Angavo, en particulier dans la région "Mangoro-Alaotra", cet ensemble est appelé "groupe du Manampotsy". Il contient les principaux gisements de graphite des Hautes Terres de Madagascar.

Les gneiss, migmatites et granites (par ordre de "granitisation" croissante et donc d'altérabilité décroissante) sont interstratifiés et présentent des pendages redressés. Les lames de granites, roches les plus "dures", quand elles sont épaisses ou rapprochées, arment les reliefs et signalent leur présence au sein des gneiss et des migmatites, par des rides et dômes allongés, toujours selon la direction structurale dominante NNW-SSE. Les barres granitiques sont spécialement nombreuses et épaisses au Sud de la cuvette. Entre ces rides, les gneiss, par leur altérabilité et leur aptitude au fluage plus rapide, ont favorisé le façonnement d'alvéoles, de gouttières ou de plaines évidées. Les grandes gouttières sub-parallèles (avec ou sans "baibohos") qui prolongent la partie méridionale de la cuvette de l'Alaotra, résultent toujours de l'évidement différentiel des roches gneissiques. Lorsque le fluage de leurs altérites a été total il ne reste plus qu'un matériau argilo-sableux d'étalement de ces altérites, localement recouvert d'alluvions actuelles ("baibohos") ; sinon, le modelé présente la forme d'une multitude de collines convexes ("demi-oranges") séparées par

des vallons à fonds plats. Ces morphologies sont toujours d'une grande netteté au Sud, mais on les retrouve aussi à l'Ouest ("presqu'île" de Vohitany par exemple). La présence de dômes orientés N-S, à convexités, mais sans "fouillis" de demi-oranges, signale toujours une armature granitique ou migmatitique au sein des gneiss. Ces alignements n'ont jamais une origine tectonique, mais toujours "litho-structurale".

Ce "groupe acide" comparé au "groupe basique" du système du Vohibory, s'en différencie très bien : par l'intermédiaire du *modèle* (convexisation généralisée des versants, présence de nombreux plateaux, aptitude aux "aplanissements" par fluage), des *altérations* (altérites très profondes riches en sables et en micas, à réserves aquifères assez systématique), du *système d'érosion* (prédominance des "lavaka" par rapport aux mouvements de masse et aux ravinements) et des *aptitudes agricoles* (sols ocres ou jaunes plus sableux, moins structurés, à plus faible capacité de rétention en eau, globalement moins fertiles). La possibilité, dans ce type d'altération arenacée, de logement d'une "nappe phréatique d'altérite" est donc fondamentale ; les processus engendrés par les nappes expliquent une grande partie des caractéristiques physiques spécifiques des provinces géologiques acides.

II - LES FORMATIONS SUPERFICIELLES

Ce terme générique, traditionnellement en usage parmi les géologues, regroupe les matériaux *généralement* remaniés, meubles ou durcis après coup et d'âge quaternaire, dont l'épaisseur est suffisante pour cacher le substratum géologique sain ou ses *altérites en place*. Pour les géologues non "quaternaristes" ce sont donc des matériaux gênants, sans grand intérêt en soi. Elles sont pourtant, quand elles sont bien interprétées, des indices très précieux sur la nature litho-structurale précise du socle.

Les altérites en place ne sont donc pas, en général, considérées comme des "formations superficielles" car elles dérivent directement de la transformation des roches *in situ* et sont donc quasiment généralisées ; d'autre part dans beaucoup de cas comme pour les altérations ferrallitiques, leur genèse a commencé au Tertiaire. Néanmoins au lac Alaotra, et dans le monde Tropical en général, la distinction entre altérites et "formations superficielles", ainsi que les différenciations dans ces dernières, sont souvent délicates et dépendent des interprétations que l'on fait sur la genèse des matériaux meubles ; en fait, dans tous les cas, le matériau d'origine est la "roche pourrie" résultant de l'hydrolyse des minéraux des roches du substratum cristallin et de l'argilification (néoformation) plus ou moins poussée de ces produits d'hydrolyse. Cette roche pourrie, par les mouvements des eaux de nappe ou de surface, subit des transformations *soit sans transport* (processus physico-chimiques "in situ" comme les lavages et les ségrégations ferrugineuses) *soit avec transport et/ou remaniements* de différentes natures (colluvions, alluvions, matériaux flués) aboutissant à une certaine redistribution des mêmes altérites d'origine.

Nous avons donc été amenés à distinguer génétiquement 5 grands groupes de matériaux meubles "superficiels" ayant servi de supports aux divers processus de pedogenèse postérieurs :

- les altérites non remaniées
- les matériaux de fluage (actuels, récents et anciens)
- les alluvions fluvio-lacustres (actuelles et anciennes)
- les alluvions fluviales actuelles ("baibohos")
- les colluvions.

1. Les altérites non "remaniées" :

Il s'agit de la roche pourrie, *en place*, quelle que soit sa nature, son degré d'hydrolyse et d'argilification. Les roches pourries sur amphibolites sont plus argileuses, moins micacées, plus bariolées (blanchâtre à bigarrures violacées), que les roches pourries sur roches acides qui elles sont sablo-micacées, rosâtres et le plus souvent, du moins à leur base, saturées par une nappe phréatique. Ces dernières sont marmorisées dans leur partie supérieure (grandes taches rouilles ou rouge) par la redistribution du fer opérée lors du battement ancien des nappes phréatiques. Ce matériau d'altération est souvent appelé "plinthite meuble" ; elle s'accompagne d'une argilification (kaolinisation) plus avancée que l'altérite plus arénique inférieure.

2. Les matériaux de "fluage" (actuels et anciens)

Ce sont les matériaux issus du remaniement sur de courtes distances par des processus de fluage des altérites *en place* et qui recouvrent ces dernières sur quelques mètres (2 à 5 mètres) d'épaisseur. Ces formations se distinguent des alluvions et des colluvions par leurs caractéristiques et leur genèse.

Elles sont issues d'altérites de roches riches en grains quartzeux (gneiss, migmatites, granites). On les trouve dans les sites sub-horizontaux ou à larges ondulations. Elles sont massives et de texture argilo-sableuse sans éléments grossiers (absence de cailloux quartzeux). Elles reposent généralement sur l'altération *en place* (roche pourrie aréno-micacée ou plinthite) par l'intermédiaire d'une nappe de gravats quartzeux discontinue ("stone line"). Les processus de mise *en place* mettent en oeuvre (nous le verrons en détail dans la suite de l'exposé) la "nappe phréatique d'altérite" qui déstabilise, mobilise et étale sur de faibles distances la roche pourrie, des reliefs préexistants qui "fluent" ainsi de façon régressive. Une grande partie des altérites fluées est évacuée par les eaux de surface mais quelques mètres restent sur place. L'engorgement et le lavage partiel de ces matériaux flués y efface rapidement les minéraux altérables qui restaient ; seuls subsistent l'argile kaolinique et le sable quartzeux. Ce matériau de fluage se forme en conditions hydromorphes et il occupe toutes les plaines ("glacis-plaines") périphériques de la cuvette centrale. Une grande partie de celle-ci n'est donc pas constituée d'alluvions proprement dites, contrairement à ce qu'on pense généralement. Le faible transport longitudinal des altérites fluées explique l'absence de stratification alluviale et de tri granulométrique

mécanique, même si par la suite le "lavage" des argiles par la nappe à certains niveaux préférentiels, opère une concentration relative de sable et même si de vraies alluvions peuvent s'y superposer. En dehors de ces sites "fonctionnels" à *genèse sub-actuelle*, on trouve aussi des *matériaux de fluage plus anciens* sur une grande partie des plateaux et glacis-terrasses perchés autour de la cuvette, représentant des reliques de niveaux de base anciens ou récents. Le matériau flué a alors évolué par oxydation ; il est coloré (ocre, jaune, parfois rouge) et constitue ce qu'on appelle communément un "sol ferrallitique" proprement dit ; il repose encore sur l'altérite non remaniée à plinthite, seul indice indiscutable de la position haute antérieure de la nappe et des conditions hydromorphes d'origine.

La mise en évidence d'un mode de genèse identique entre plusieurs séries de matériaux de couleurs et de positions topographiques très différentes, à savoir une série de "*matériaux de fluage actuel*" et plusieurs générations de "*matériaux de fluage ancien*" sur les surfaces perchées, ont été fondamentaux pour la compréhension "hydro-morpho-pédologique" de l'ensemble de la région du lac Alaotra, son fonctionnement actuel comme son histoire.

3. Les alluvions fluvio-lacustres (actuelles et anciennes)

Ces vraies alluvions fluvio-lacustres et deltaïques occupent la partie centrale de la cuvette. Elles ne se sont pas déposées dans une grande épaisseur d'eau (quelques mètres en général), pas assez épaisse pour amortir la dynamique des apports fluviatiles qui s'y déversaient : les dépôts du centre de la cuvette n'ont pas le faciès caractéristique homogène des dépôts strictement lacustres. C'est pourquoi nous parlons de dépôts "fluvio-lacustres". Spatialement elles prennent le relais progressif des matériaux de fluage, en aval de ceux-ci. Le passage de l'un à l'autre est le résultat d'une ségrégation granulométrique, séparant les sables et les argiles ; globalement les 2 matériaux contiennent des proportions semblables de sable et d'argile ; dans le 1er cas il n'y a pas eu de tri (sauf localement un tri "relatif" par des processus internes de *lavage* des argiles ou *colmatage* par ces mêmes argiles), il s'agit d'une argile sableuse ; dans le 2ème cas il y a eu tri mécanique opéré par et dans les eaux de surface, pendant ou après un transport longitudinal suffisamment important, aboutissant à la différenciation de strates tranchées de *sable quartzéux pur* (généralement sans mica) et d'*argile fine grise kaolinique* (60 à 80 % de particules de diamètre inférieur à 2 μ). Ces strates sont alternées et d'épaisseur variable liée aux conditions de dépôts. Les argiles caractérisent les milieux à faibles "compétence", à décantation calme, les sables les déversements en milieu plus turbulent des vastes cônes d'épandage deltaïques tels le cône de l'Anony et le cône de la Sahabe. Les argiles alluviales, de 1 à quelques mètres d'épaisseur, qui reposent en général sur un substrat sableux ou argilo-sableux, peuvent avoir pour origine, plusieurs modalités :

- L'argile sableuse de fluage en provenance des glacis-plaines périphériques, évacuée vers l'aval par les eaux phréatiques remontant en sub-surface (hypodermiques), finit, lors de ce transport longitudinal,

par se séparer, d'une part en sables d'autre part en argiles. L'argile décante alors en aval, à l'écart des turbulences deltaïques.

. les processus de lavage différentiel de l'argile sableuse de fluage par les eaux phréatiques hypodermiques, enrichissent cette nappe en colloïdes argileux, qui, lorsqu'elle affleure en aval, alimentent l'étendue lacustre centrale (avec ou sans *Cyperus*), où décantent calmement ces argiles fines (une autre partie ayant participé auparavant au colmatage de matériaux préalablement lavés de la même façon).

Ces deux types de sédimentation, non directement fluviales s'opèrent dans les "angles morts" des grands cônes deltaïques et dans les "golfs" sans arrivée de grand fleuve (lorsqu'il y a des cours d'eau à "baibohos" ceux-ci sont déposés bien en amont, aux débouchés mêmes des vallées). Il en est ainsi du "golfe d'Ambatondrazaka" où se situe une grande partie du PC 15, du vaste golfe situé au Sud de la "presqu'île" d'Ambongalava, occupant une partie du PC 23, et du golfe situé entre les presqu'îles de Vositany et d'Ambongalava (SSE d'Amparafaravola).

. les apports fluvio-deltaïques proprement dits, avec débordement peu turbulents des eaux de surface par dessus les défluent du cours d'eau principal qui balayent son cône deltaïque, puis décantation lente dans un filtre végétal à *Cyperus*. C'est le cas d'une grande partie du cône de l'Anony. Dans ce cas les sables glissent et transitent au fond des lits des défluent et se déversent en aval où ils sont en partie remaniés en "cordons littoraux" par les fluctuations et courants lacustres.

Comme pour les matériaux de fluage nous pouvons distinguer dans la région du lac Alaotra, plusieurs générations d'alluvions fluvio-lacustres :

- des alluvions fluvio-lacustres sub-actuelles, qui sont situées dans la cuvette proprement dite et qui correspondent au niveau de base terminal.

- des alluvions fluvio-lacustres récentes et anciennes, qui sont perchées en plateaux ou glacis-terrasses autour du lac (surtout dans sa partie méridionale et Sud-Occidentale), représentant des reliques d'anciens niveaux de base. Ces alluvions stratifiées, sables et argiles, souvent recouvertes d'argiles sableuses de fluage issus de versants qui à la même époque étaient en cours de "fonte", ont perdu en partie leur aspect hydro-morphe (sauf en profondeur où se maintient une marmorisation due à la fluctuation d'une ancienne nappe phréatique) ; elles se sont oxydées et colorées pour prendre des faciès de sols ferrallitiques jaune ou ocre.

Une génération de ces surfaces, en forme de larges terrasses dominant le Sud de la cuvette se raccorde en amont, sans discontinuité, avec "des glacis de fluage" de la même époque ; l'ensemble forme des "glacis-terrasses à sols jaunes" prenant racine à moins de 850 mètres d'altitude. convergeant en pente douce vers la cuvette, représentant donc un niveau de base ancien de cette cuvette de l'Alaotra.

Une autre série de surfaces, plus anciennes, à allures de plateaux, perchés plus hauts (plus de 850 mètres d'altitude en général), plus étroits et disséqués que les glacis-terrasses précédents et sans orientation dominante vers la cuvette, représente des niveaux de base antérieur à l'évidement de la cuvette de l'Alaotra, donc liés au Rift du Mangoro d'âge tertiaire.

4. Les alluvions fluviatiles actuelles

Ce sont les dépôts, exclusivement fluviatiles cette fois, qui convergent vers le niveau de base terminal que constitue la cuvette, et qui sont alimentés par l'érosion actuelle des bassins versants. Exception faite des cônes de "baibohos" de la Côte Est, ces alluvions se déposent généralement avant d'atteindre la nappe d'eau libre centrale (lac ou marécage). Elles recouvrent donc des matériaux de fluage et des matériaux alluviaux fluvio-lacustres que nous avons décrits précédemment.

La plus grosse partie de ces alluvions est composée de "baibohos" c'est à dire de sédiments riches en limons et en micas, inondés (en régime naturel, donc en l'absence d'aménagements) régulièrement en hivernage ; les baibohos sont généralement issus de l'éventration en champs de "lavaka" des reliefs "pourris" convexes amont et de l'épandage des altérites de roches gneissiques, migmatitiques ou granitiques. La coalescence, le transit puis le dépôt fractionné des produits d'érosion aboutit à un tri granulométrique d'amont en aval : dépôts des graviers puis des sables quartz^{eux} dans les gouttières et partie amont des plaines, suivis des épandages des micas, limons et argiles dans les plaines terminales aval. Les strates limono-micacées et lits sableux, dépôts très répandus et qui constituent les "baibohos" proprement dits, sont d'une couleur rose ou rougeâtre caractéristique ("latérites" des géologues et pédologues d'avant 1960). Lorsque les bassins versants sont plus riches en gneiss amphibolitiques, les dépôts deviennent moins micacés et moins quartz^{eux}. En aval des gabbros et des amphibolites, (Nord et Nord-Est de la région) les gouttières alluviales et les épandages terminaux sont bruns argileux.

5. Les colluvions

Ce dernier groupe de matériaux superficiels est très réduit en superficie, relativement aux précédents. La genèse des colluvions se distingue de celle des alluvions par le fait que, contrairement à ces dernières, les eaux de surface ne les ont pas transportées longitudinalement sur de grandes distances ; elles sont localisées aux piémonts immédiats des versants érodés dont ils dérivent ; de sorte qu'elles n'ont pu être triées, comme les alluvions, en strates de classes granulométriques bien nettes, et qu'elles peuvent emballer des éléments caillouteux ; elles ont conservé des caractères des altérites des versants amont. Les colluvions se distinguent également nettement des "matériaux de fluage" par le fait qu'elles n'ont pas été étalées et noyées par une nappe phréatique saturante. Ce sont essentiellement des eaux d'infiltration et de surface qui ont mobilisé les altérites des versants pour les accumuler au piémont.

Les colluvions forment des glacis de piémont, frangeant les reliefs basiques (gabbros et amphibolites du Nord de la région). Elles sont, comme les sols des versants dont elles dérivent, rouges, argileuses et très structurées. Les colluvions situées aux pieds des reliefs gneissiques convexes sont très rares, nous en avons observé près d'Ambatondrazaka ; elles sont alors argilo-sableuses.

ETUDE DES UNITES DE MILIEU

LES GRANDES SUBDIVISIONS NATURELLES DU PAYSAGE

1/ *La trilogie majeure*, qui, à un niveau élevé de perception, structure la région, est constituée par les grands ensembles suivants :

- les reliefs accidentés,
- les plateaux et terrasses,
- les plaines, glacis et bas-fonds.

Une autre traduction de cette trilogie sera :

- *Les modelés de dissection* (montagnes et collines), dominant les niveaux de base actuels, en périphérie de la cuvette.
- *Les niveaux de base inactuels* (surfaces planes perchées), ensemble à l'intérieur duquel nous avons différencié :
 - . *niveaux de base anciens* : plateaux sommitaux et terrasses "hautes" (nettement perchés)
 - . *niveaux de base récents* : glacis et terrasses basses (faiblement perchés).
- *Les niveaux de base actuels*, comprenant toutes les plaines formant la vaste cuvette proprement dite de l'Alaoira et les bas-fonds en "doigts de gants" qui la prolongent en s'insinuant entre les collines périphériques.

Dans cette première différenciation, qui est la 1ère dans l'exposé, mais dont la réelle importance hiérarchisante nous est apparue en fait pendant le déroulement et surtout vers la fin de la prospection, ce sont les actions des régimes hydrologiques (de surface et des nappes phréatiques d'altérites) et les positions successives dans le temps de leurs niveaux de base, qui apparaissent comme les facteurs les plus "pertinents explicatifs" et structurants pour la représentation cartographique.

2/ *La subdivision suivante* se base sur la morphologie du paysage, c'est à dire sur le modelé (forme du relief) et la topographie :

- *Les reliefs environnants la cuvette* se différencient en sous-ensembles d'après la vigueur de leur modelé, leurs dénivellations, leurs pentes, leur morcellement, la forme de leurs versants et vallées, les processus d'érosion qui s'y manifestent.

- Les niveaux de base anciens et récents (plateaux, glacis-terrasses et terrasses) ont été différenciés en fonction de leurs dénivellations au dessus des niveaux de base actuels.
- Les niveaux de base actuels ont été répartis suivant leur éloignement par rapport au centre de la cuvette et leur morphologie (bas-fonds, glacis-plaines, plaines fluviolacustres, plaines d'épandages actuels) ou en fonction du type de sédimentation : fluviolacustre (c'est à dire deltaïque) ou bien fluviale stricte ("baiboho") ou bien encore colluviale.

3/ Les subdivisions suivantes , plus détaillées, sont qualifiées de "morpho-pédologiques", car elles prennent en compte plus spécifiquement et de façon plus fine, à l'intérieur des ensembles précédents, les sols et le modelé. On arrive, par cette dernière subdivision, à la définition des "unités de milieu" ou "unités morpho-pédologiques" considérées comme homogènes au niveau de perception que permet l'étude et qui est en grande partie commandée par l'échelle imposée, qui est le 1/50 000.

PREMIERE PARTIE

I - LES MODELÉS DE DISSECTION

Nous appelons "modelés de dissection", les *reliefs non plats*, généralement à pentes supérieures à 10 % mais pouvant dépasser 50 %, qui ont été façonnés, soit par l'intervention externe des eaux de surface, soit par des actions "internes" du fait des eaux de nappes, ayant abouti à des *départs importants de matériaux* sous une forme ou sous une autre. Dans leurs états actuels, ces reliefs, en opposition avec les autres types de reliefs, n'ont jamais pu être des "niveaux de base" pour les eaux de surface et les nappes. Les eaux de pluies s'y sont toujours infiltrées profondément, ou se sont écoulées latéralement et rapidement vers l'aval (*en surface* avec une action érosive façonnante ou par l'intermédiaire des mouvements de masse terreux), pour rejoindre leurs niveaux de base effectifs.

Nous avons différencié 3 sous-ensembles, d'après la vigueur du modelé et l'intensité des processus érosifs :

- les reliefs très accidentés et pentus à érosion active généralisée,
- les reliefs accidentés et pentus à érosion modérée non généralisée,
- les reliefs collinaires peu pentus, à érosion faible ou nulle.

I. 1. LES RELIEFS TRES ACCIDENTÉS ET PENTUS A EROSION ACTIVE GENERALISEE

Ces reliefs, en règle générale sans intérêt pour l'agriculture sinon pour les "boisements de protection", ont des pentes générales toujours supérieures à 20 % et fréquemment supérieure à 40 %. Les dénivelées sont importantes, les vallées sont encaissées, à transits de matériaux alluviaux vers l'aval et piégeages peu importants. On n'observe pas de bas-fonds tourbeux ; les "nappes phréatiques d'altérites" sont généralement absentes. L'instabilité des versants, engendrant des formes d'érosion très variées, est généralisée. Les sols, hétérogènes, sont soumis à des décapages, recouvrements et remaniements fréquents.

En fonction décroissante de la raideur des pentes et de l'intensité de l'érosion (caractères en rapport étroit avec la géologie), nous avons identifié un certain nombre de "*systèmes morphogénétiques*" distincts caractérisant les unités de milieu suivantes :

I. 1. 1. LES RAVINEMENTS PROFONDS EN "LAVAKA" (UNITE 1)

Ce type d'érosion, qui dans sa forme et son intensité, semble très spécifique à Madagascar (les conditions permettant leur occurrence sont rarement réunies aussi efficacement que dans cette île), est particulièrement bien représenté autour du lac Alaotra et plus spécialement au Sud-Est de la cuvette.

Le lavaka est un ravin profond, élargi (50 à 300 mètres) en poire en amont, très rétréci en aval, où l'exutoire est souvent réduit à un très mince et profond goulot d'un mètre de large ; sa profondeur peut être importante (10 à 30 mètres). L'intérieur du lavaka est occupé par des éperons convergents et des "bads-lands" modelés dans les altérites non évacuées, séparés par des zones planes suintant de l'eau, même en saison sèche ; cette eau correspond au recoupement de la nappe phréatique logée à la base des épaisses altérites de migmatite ou de gneiss qui constituent les "volumes pourris", sans "noyaux durs", des reliefs fortement convexes affectés par les lavaka.

Les lavaka éventrent toujours les plus fortes convexités des reliefs, de préférence où les dénivellations avec les niveaux de base actuels (bas-fonds, plaines) sont les plus élevées. Les lavaka n'affectent que des altérites de roches riches en sables quartzeux (et souvent micacés) donc essentiellement de migmatites, gneiss et granites.

Enfin les lavaka ne se forment, à Madagascar, que sous savane herbeuse ("tanety" à "bozaka") et pas sous forêt. Leurs déclenchements nécessitent les conditions suivantes :

- collines "pourries" sans "noyau dur" rocheux
- forte convexité
- forte dénivellation
- altérite riche en quartz
- altérite "fluante" à la base (noyée par une nappe phréatique), compacte et cohérente, donc apte au cisaillement vertical, au sommet.

C'est le cas des sols ferrallitiques sous savane, des reliefs convexes profondément altérés de Madagascar.

Les lavaka sont donc la conséquence de processus moteurs internes aux altérites et non pas externes comme c'est le cas pour le ravinement par ruissellement concentré.

Nous interprétons les lavaka comme étant les manifestations d'un déséquilibre gravitaire affectant les collines convexes "pourries de l'intérieur" (où la roche saine a été digérée) donc fragilisées ; la structure de la roche est cependant conservée mais les minéraux altérés y ont perdu leurs fortes liaisons mutuelles d'origine, affectant donc la

RELIEFS

- CHAMPS DE "LAVAKA" ANASTOMOSÉS ET GÉNÉRALISÉS.
- RELIEFS POLYÉDRIQUES, A GRANDS VERSANTS RECTILIGNES SUR GRANITE.
- RELIEFS A EVOLUTION POLYÉDRIQUE, A GRANDS VERSANTS, SUR GNEISS A AMPHIBOLE.
- ANCIENS RELIEFS MULTI-CONVEXES (1/2 ORANGES) EN COURS DE "RECTIFICATION", SUR GNEISS A AMPHIBOLE.
- RELIEFS A GRANDS VERSANTS BOSSELÉS SUR GNEISS ET GABBROS ALTERNÉS.
- RELIEFS A GRANDS VERSANTS BOSSELÉS ET RAVINÉS, SUR GABBRO.
- RELIEFS STRUCTURAUX ORIENTÉS, CONVEXES, SUR MIGMATITES ARMÉES DE LAMES DE GRANITE.
- RELIEFS MULTI-CONVEXES ("DEMI-ORANGES") SUR GNEISS ET MIGMATITES.
- RELIEFS STRUCTURAUX ORIENTÉS SUR GNEISS A AMPHIBOLE ET AMPHIBOLITE.
- COLLINES SUR GNEISS A AMPHIBOLE.
- RESTE D'ÉDIFICE VOLCANIQUE BASALTIQUE.

SURFACES PLANES

- PLATEAUX ET GLACIS-TERRASSES PEACHÉS (NIVEAU DE BASE ANCIENS INDIFFÉRENCIÉS).
- NIVEAU DE BASE "FONCTIONNEL", ACTUEL (PLAINS ET VALLÉES, MARÉCAGES ET LAC) ET NIVEAU DE BASE RÉCENT (TERRASSES ET GLACIS-TERRASSES PEU PEACHÉS).

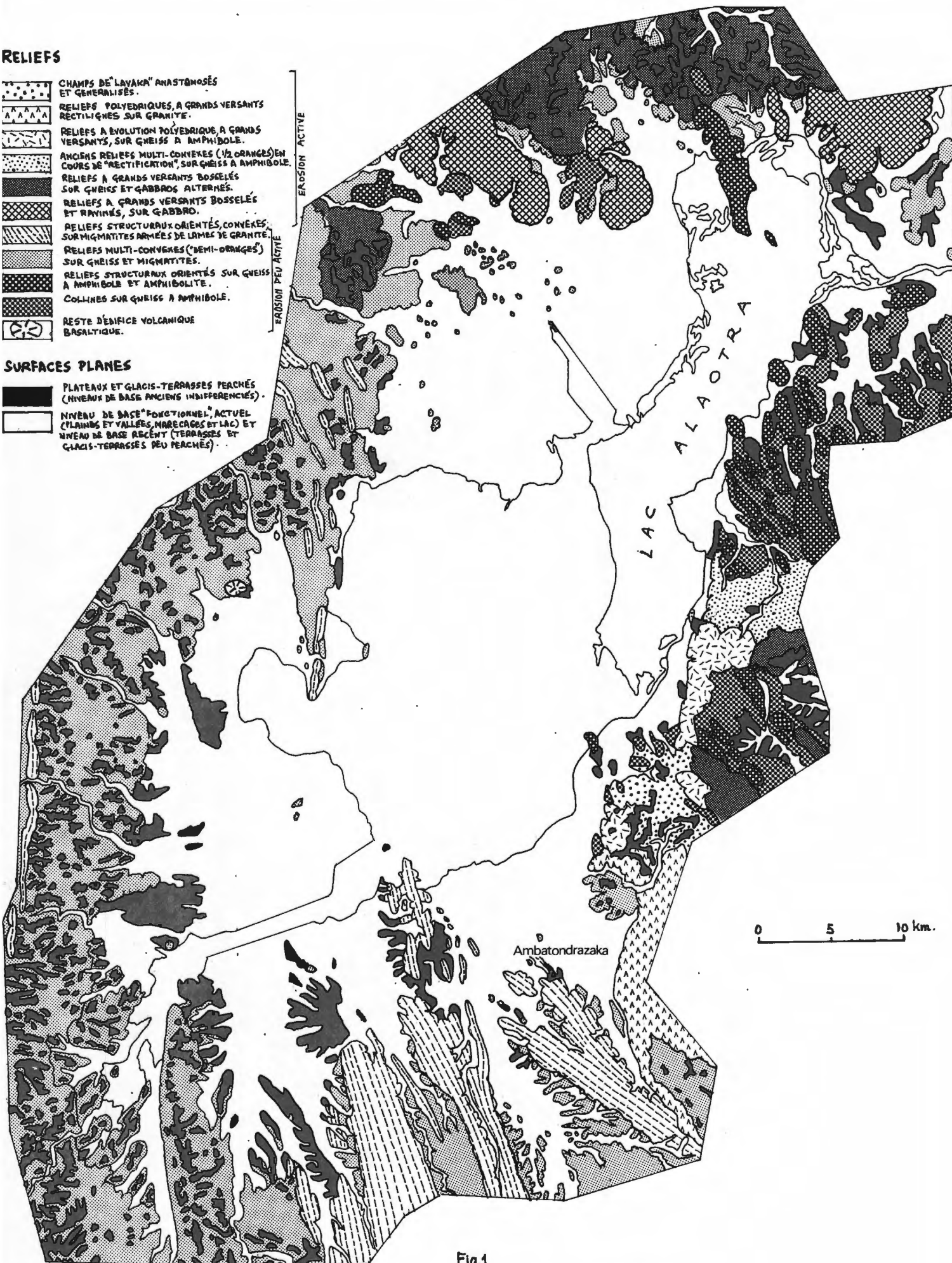


Fig.1

M. RAUNET. 1984

LES PRINCIPAUX MODÈLES DE DISSECTION
(SYSTÈMES MORPHO-GÉNÉTIQUES)
PÉRIPHÉRIQUES AU LAC ALAOTRA

cohérence de l'ensemble, qui, dans certaines conditions actuelles (énoncées précédemment), est prêt à s'effondrer. Le stade de "convexisation" et de "pourriture" totale est atteint probablement sous climat plus humide et en conditions forestières, correspondant alors à un équilibre du système. Le niveau phréatique était alors situé plus haut et la partie supérieure des altérations (horizon B coloré) ne se desséchait pas vraiment ; ces conditions permettaient la convexisation progressive des versants par "creep" superficiel, activé par l'entaille linéaire et l'approfondissement des vallées, celui-ci se poursuit par le recoupement de la nappe phréatique, provoquant ainsi un "fluage" régressif latéral des altérites des bas de versant, la formation d'un bas-fond plat, l'évacuation en nappe boueuse des altérites fluées, et enfin la stabilisation de l'ensemble lorsqu'un certain "seuil de convexité" des versants bordant ces bas-fonds a été atteint.

Puis le climat est devenu plus contrasté, la végétation forestière a disparu, les nappes phréatiques sont descendues, l'horizon B supérieur réoxydé, s'est "durci" sur quelques mètres, la partie inférieure quartzo-micacée restant imbibée. Ces changements ont entraîné un déséquilibre gravitaire d'ensemble ; par leur poids, les altérites épaisses (plusieurs dizaines de mètres) ont alors tendance à glisser sur leur base gorgée d'eau et riche en mica : genèse de lavaka, cisaillement vertical supérieur des bordures de la "spatule" ; le tout, à l'état de boue, est évacué latéralement par le goulot-exutoire très étroit creusé dans le bas du versant. Les produits boueux riches en sables s'étalent en "cônes de déjection" dans la vallée aval, ou bien sont évacués par les fines entailles sinueuses logées dans cette vallée. Le lavaka s'élargit de façon centrifuge par effondrements brutaux sporadiques des parois cisailées. Dans les zones particulièrement instables les lavaka généralisés se recoupent, formant des "bad-lands" spectaculaires éventrant des hautes collines entières sur des dénivellations pouvant atteindre une centaine de mètres.

Les zones particulièrement "fragilisées", à lavaka nombreux (Sud Est de la région) sont associées en aval à leur pôle opposé qui est représenté par de vastes épandages alluviaux micacés ("baibohos"). "Lavaka" et "baibohos" (voir unités 41 à 48) sont des formes indissociables et contemporaines, à dynamique actuelle très intense, signe d'un réajustement répondant à un déséquilibre gravitaire, issu d'une "crise" morpho-climatique.

I. 1. 2. LES RELIEFS POLYEDRIQUES A GRANDS VERSANTS RECTILIGNES SUR GRANITE (UNITE 2)

Ce type de modelé très accidenté caractérise les reliefs bordant la région Sud-Est de la cuvette ; il domine (entre 1 000 et 1 200 mètres d'altitude), la rive droite de la "gouttière à baiboho" de la Lohafasika-Est, ainsi que les baiboho de Mangalaza, à l'Est d'Ambatondrazaka.

Contrairement à ce qu'on observe généralement ailleurs, ici, les versants et les crêtes ne montrent pas de convexités, les bas-fonds sont absents et les lavaka sont rares. Le relief présente un aspect "polyédrique" : les grands versants (à fortes dénivellations et pentes très élevées, supérieures à 40 %) sont *rectilignes*, ils se recoupent pour former des *crêtes aigues*, et prendre l'aspect de *multiples facettes* (polyèdres) du fait d'une dissection très dense, par un réseau de *vallées très encaissées* ; celles-ci ne montrent pas de remblais alluviaux ; les alluvions issues du décapage des versants ne font que transiter pour se déposer sous forme de cônes de déjection sablo-gravillonnaires coalescents aux piémonts des reliefs, aux débouchés des vallées (voir unité 41).

Le façonnement de ces reliefs s'est fait par décapage préalable de l'épais manteau d'altération (associé ailleurs aux convexités du modelé), jusqu'au niveau de l'arène granitique basale sablo-gravillonnaire quartzo-micacée.

Les nappes phréatiques d'altérite n'ont donc pu se maintenir, et la morpho-dynamique a été ensuite le fait des eaux de surface (décapage en nappe et ravinement). Ces reliefs sont armés par du granite sain et ne sont donc plus soumis à la dynamique très particulière (convexisation, lavaka, bas-fonds) des "reliefs pourris". Ces reliefs polyédriques sont modelés sur des granites d'anatexie, dont la structure stratifiée est révélée par des barres affleurantes escarpées sur les versants. Il est probable que la mise en relief de ces granites a eu pour origine, moins le "dégagement" relatif par déblaiement différentiel des roches plus altérées environnantes, que la tectonique (ici orientée NNW-SSE et N-S) qui a affecté plus particulièrement et plus brutalement qu'ailleurs la partie Sud-Orientale de la cuvette. Les alignements nets qui, à l'Est d'Ambatondrazaka, forment la limite entre les baibohos et les pieds des reliefs sont probablement d'origine tectonique. L'activation corrélative de l'érosion de ces granites a permis le façonnement de versants à facettes triangulaires au-dessus de la faille et le déversement, à leurs piémonts, de nombreux petits cônes de déjection.

L'utilisation agricole de ces versants n'est pas envisageable ; d'ailleurs, nulle part ils ne sont cultivés, leur pénétration difficile, les pentes supérieures à 40 %, le ruissellement et le décapage actifs, les sols très peu épais sablo-gravillonnaires (arènes quartzo-micacées), forment des obstacles rhédbitoires pour l'agriculture.

I. 1. 3. LES RELIEFS A EVOLUTION POLYEDRIQUE, A GRANDS VERSANTS, SUR GNEISS A AMPHIBOLE (UNITE 3)

Cet ensemble montagneux, dominant la rive Sud-Orientale de la cuvette, entre Ambohitsilaozana et Ambatosorotra, forme un système morphogénétique assez distinct du précédent (unité 2), bien que la même influence tectonique en soit à l'origine. Par rapport aux reliefs

polyédriques sur granites situés au Sud, ici on peut dire que la morphogénèse est moins avancée (bien que , par beaucoup d'aspects, plus spectaculaire) dans la mesure où le décapage de l'épaisse couverture d'altération qui moule les roches, n'est pas achevé. Nous sommes cette fois sur *gneiss à amphibole* pour lesquels l'intensité, la profondeur et la vitesse d'altération sont supérieures à ce qui se passe sur granite (comme c'était le cas précédemment). L'érosion des altérites, activée par les mouvements tectoniques récents augmentant la ~~dénivellation~~ par rapport au niveau de base de la cuvette, est responsable de la morphologie actuelle : les grands versants très pentus (pentes supérieures à 40 %), présentent de fortes dénivelées ; ils résultent d'une dissection dense, par un réseau de vallées encaissées étroites, sans fond alluvial (transit exclusivement). Ces versants sont façonnés *d'une part* par la dynamique des altérites mobilisées par l'infiltration des pluies, sous forme de mouvements de masse (glissements, creep, décollements, "coups de cuiller"...), *d'autre part* par les ruissellements concentrés superficiels engendrant des ravinements linéaires profonds ; à ces 2 formes de processus mobilisateurs et évacuateurs d'altérites, il faut ajouter les *lavaka*, qui sont davantage à rapprocher des mouvements de masse dans la mesure où ce sont des mécanismes internes qui jouent (fluage basal) plus qu'externes (voir précédemment, unité 1).

Donc, cette morphogénèse conduit à une association de versants bosselés et de versants rectilignes dont la répartition est fonction de l'état d'avancement du décapage des altérites argileuses, et de la mise en affleurement des arènes sablo-gravillonnaires sous-jacentes, qui elles, favorisent davantage l'évolution polyédrique. Celle-ci se signale également par la fréquence des "recoupements" de versants, en crêtes étroites. Les sols qui recouvrent ces versants sont extrêmement hétérogènes, puisqu'ils correspondent à des dépôts de pentes en transit par à coups vers l'aval, résultant de la morphodynamique active. Les "sols ferrallitiques remaniés", tronqués (colluvions argileuses rouge) sont imbriqués avec des sols sableux ou caillouteux peu évolués (arènes gneissiques).

Les versants sont donc en forte instabilité actuelle, spécialement lors des périodes "cycloniques", des foirages, glissements, "coups de cuiller" et lavaka peuvent rapidement alimenter les vallées. Les sédiments, du fait de la "compacité" des bassins versants et de la raideur des pentes qui concentrent rapidement les ruissellements, peuvent être évacués brutalement vers les plaines de piémont et causer des dégâts importants.

Ces reliefs n'ont aucune vocation agricole mais leur boisement (techniquement difficile) pourrait contribuer à tamponner l'infiltration en la rendant plus régulière et à amortir la vitesse du ruissellement, donc à réduire la brutalité de la morphodynamique et protéger aussi les régions habitées et cultivées en aval. Il ne nous semble pas réaliste d'envisager la réalisation "d'ouvrages" sensés ralentir l'érosion naturelle actuelle, du fait de leur coût élevé et de leur très hypothétique efficacité.

I. 1. 4. LES RELIEFS "MULTI-CONVEXES" EN COURS DE "RECTIFICATION" SUR GNEISS A AMPHIBOLE (UNITE 4)

Ce "système morphogénétique" caractérise les reliefs orientaux situés au Nord des précédents, entre Ambatosorotra et Ambohidava.

On a ici un "fouillis" de reliefs collinaires, disséqués par un réseau hydrographique dense, formant un moutonnement de petits interfluves ayant conservé des traces de convexités antérieures.

Les versants sont assez courts (comparés aux grands versants des unités 2 et 3), à pentes fortes (20 à 40 %), à profils rectilignes à convexes. Les crêtes ne se recoupent pas à angles aigus mais sont arrondies. Les vallées sont encaissées et montrent d'étroits remblais alluviaux, en transit vers le niveau de base général que constitue la cuvette du lac Alaotra. Il n'y a pas de vrais "bas-fonds" c'est à dire à affleurement de nappe phréatique d'altérites. D'ailleurs ces nappes on totalement disparu.

Nous interprétons ce type de modelé comme un héritage, très émoussé, de reliefs multi-convexes en "demi-oranges" à l'origine assez semblables à ceux que l'on peut observer à l'Ouest de la cuvette ; la différence essentielle est qu'ici, les convexités ont conservé leurs noyaux durs", c'est à dire que l'altération n'a pas eu le temps de "pourrir" complètement l'intérieur des collines ; ici ces reliefs ont subi un puissant décapage qui a éliminé la majeure partie de leur couverture d'altération ferrallitique, en conservant toutefois leur profil convexe, et en mettant à jour l'arène basale ; le gneiss sain est visible assez souvent, alors que sur les 1/2 oranges "classiques" arrivées à leur terme, par exemple sur la bordure Ouest du lac, ce n'est jamais le cas.

Cette érosion des "1/2 oranges avortées" (altération profonde incomplète par "aspiration" des nappes) est, comme pour les reliefs précédents situés plus au Sud (unités 2 et 3), en liaison avec la tectonique, qui a affecté davantage la "rive" Est de la cuvette que la "rive" Ouest, et davantage le Sud que le Nord de cette rive Est. On peut dire qu'il y a un gradient décroissant d'intensité érosive depuis l'unité 2 au Sud jusqu'à cette unité 4. Des alignements tectoniques nets, bien qu'avec quelques décrochements et changements de direction, forment une limite assez brutale entre la plaine bordière orientale de la cuvette et les différents reliefs qui les dominent. Ces alignements de failles témoignent du jeu dissymétrique, pendant le quaternaire, de la région orientale, y activant ainsi l'érosion, alors qu'à l'Ouest de la cuvette on n'observe rien de tel.

La morphodynamique actuelle qui affecte ces reliefs au Nord d'Ambatosorotra, est le fait essentiellement du décapage en nappe dû au ruissellement superficiel. L'absence de nappe phréatique et la faible épaisseur des altérites argileuses au-dessus de l'arène ne permettent pas aux mouvements de masses (foirages, glissements "coups de cuiller"...) et aux lavaka de se manifester. La faible longueur des versants

fait que le ruissellement en nappe prédomine sur le ruissellement concentré ; les déblais sableux transitent sans s'arrêter dans les vallées étroites ; ils ne forment des remblais alluviaux qu'en aval, dans les vallées collectrices plus importantes.

Les sols sont constitués d'une mosaïque de "*sols peu évolués d'érosion*" sur arène gneissique, à sables fins et à minéraux noirs, et de "*sols ferrallitiques*" rouge sombre, tronqués, remaniés, argileux, bien structurés, peu épais (1 mètre en moyenne). Cette association de sols est la conséquence de la morphodynamique de décapage des sols ferrallitiques antérieurs ; les sites "raclés" à arène voisinent avec les sites à matériaux d'origine ferrallitique *en transit*.

Cette région n'est pas cultivée et est effectivement quasiment inutilisable pour l'agriculture : les pentes fortes, la dissection très avancée par le réseau hydrographique découpant une multitude de versants, la difficulté d'accès, les sols hétérogènes peu épais, leur régime hydrique défavorable, s'opposent à la mise en valeur. Seul un "boisement de protection" peut y être envisagé afin de tamponner l'intensité et la vitesse de concentration du ruissellement. Cependant, compte tenu de la faible largeur de la bande "cotière" (moins de 500 mètres), du faible intérêt agricole de celle-ci à cet endroit (voir ci-dessous, unité 27), et du coût de telles mesures de protection, ces boisements ne nous paraissent pas justifiés, ou en tout cas non prioritaires. Tout autre "aménagement" nous paraît également inutile.

I. 1. 5. LES RELIEFS A GRANDS VERSANTS BOSSELÉS SUR GNEISS ET GABBROS ALTERNÉS (UNITÉ 5).

Il s'agit des reliefs accidentés situés au Nord de la cuvette, à une altitude comprise entre 800 et 1 000 mètres.

Cet ensemble coïncide avec un substratum géologique composé de *gneiss quartzo-micacés* traversés par des strates et sills de *gabbros* (roche "basique" sans quartz et sans mica). Les premiers s'altèrent en donnant des *altérites sablo-quartzueuses ocre à rose*, alors que les seconds donnent des *altérites très argileuses rouge sombre*. Dans les 2 cas la roche saine n'est jamais visible dans cette région.

Les grands reliefs sont "coiffés" par des plateaux sommitaux découpés en lanières, situés à environ 950 mètres d'altitude (nous verrons plus loin le mode de genèse de ces plateaux, unité 16).

Ces reliefs raccordent donc des plateaux (niveaux de base anciens) à la plaine de niveau de base actuel, périphérique au lac Alaotra.

L'association de 2 types de roches ayant donné 2 types d'altération assez différents, fait que les figures d'érosion qui traduisent la morphodynamique façonnante actuelle de ces versants, sont très variées dans le détail ; généralement les altérations sont très épaisses ; elles sont capables localement de contenir des nappes ou poches aquifères, spécialement dans les altérites argilo-sableuses sur gneiss (les altérites issues de gabbro n'en contenant pas). Les actions des eaux de nappe, des eaux d'engorgement superficiel, ou des eaux de surface sont plus ou moins prédominantes selon les endroits. De sorte qu'on observe une imbrication de formes d'érosion très "riches" : "glissements en paquet de versants entiers, décollements, foirages, reptations, "coups de cuiller", lavaka, ravinement linéaire profond ou dendritique plus superficiel. Les versants en grande instabilité présentent généralement une topographie bosselée et ravinée. Les produits d'érosion provenant des versants, transitent ou se déposent dans les vallées alluviales sous forme de strates tranchées sableuses et argileuses (voir ci-dessous unités 42 et 43).

Les sols, dans ces conditions d'instabilité des versants sont des dépôts de pente en transit, (mis en mouvements par à coups), remaniés, hétérogènes, à base de matériau ferrallitique rouge ou ocre, argileux ou argilo-sableux, imbriqués avec des arènes plus sableuses.

Naturellement, hormis sur quelques replats disséminés et de faible étendue, aucune utilisation agricole n'est envisageable pour ces reliefs accidentés. Les pentes fortes (20 à 40 %) et l'instabilité généralisée des versants s'y opposent.

1. 1. 6. LES RELIEFS A GRANDS VERSANTS BOSSELÉS ET RAVINÉS SUR GABBROS (UNITE 6)

Ces reliefs, assez bien reconnaissables sur le terrain, sont liés exclusivement à la présence des gabbros intrusifs, bien circonscrits, situés au Nord de la région et dont les plus importants sont les massifs de l'Ankitsika (1 133 mètres d'altitude), de Mahatsinjo (928 m), d'Andilanola (945 m), d'Ambohidehibe (1 011 m), d'Ambohimahavelona (885 m), de Tsiakaranandevao (1 076 m), d'Antaniambo (1 045 m), d'Ankazovato (999 m).

Le modelé des massifs de gabbro, les altérations et les sols qui s'y trouvent ainsi que les formes d'érosion qu'ils affectent, leurs sont très particuliers, ce qui permet de les distinguer des massifs sur granite, gneiss et migmatites environnants.

Les versants sont généralement très longs, irréguliers, bosselés ou ravinés, à pentes moyennes de l'ordre de 20 à 30 %, à profil d'ensemble plutôt concave, ce qui tranche avec les convexités auxquelles nous ont habitué les reliefs sur migmatites et gneiss. Ces grands versants sont quelquefois dominés par des "plateaux" sommitaux ondulés et de formes très irrégulières (unité 14).

Les gabbros, roches noires grenues sans quartz ni mica, riches en minéraux sombres ferro-magnésiens (pyroxène), ont été altérés sur une dizaine de mètres; les altérites sont bigarrées (violet, blanc, gris, pourpre...) ; elles sont surmontées par des sols ferrallitiques rouges sombre ("lie de vin") de 1 à 3 mètres d'épaisseur, très argileux (davantage que les sols ferrallitiques sur roches acides du type migmatite), finement structurés, sans sable. La couleur rouge sombre est un bon critère de reconnaissance de ce type de milieu, les sols sur roches "acides" étant plutôt ocre, jaune ou rose. La roche saine est visible localement dans les figures d'érosion et les sols colluviaux de pente, à l'état de boules noires, d'un diamètre métrique ; ces boules résultent de l'érosion d'altérites en place ; ce sont des *résidus d'altération* logés au sein de "polygones", limités par les fissures qui recoupent le gabbro en tous sens, à l'intérieur desquels l'altération progresse vers le centre en écailles concentriques ("pelures d'oignon"), pour ne laisser subsister qu'un noyau dur de gabbro sain en forme de boule.

La *morphodynamique* associe d'une part des *ravinements rapprochés*, lineaires et profonds sur les moitiés inférieures des versants (favorisés par la longueur de ces versants), très hiérarchisés et ramifiés dans les parties supérieures, et d'autre part des *mouvements de masse* affectant les altérites argileuses. *Celles-ci ne sont pas favorables à la constitution de poches aquifères comme le sont les* altérites argilo-sableuses (gneiss, migmatites, granites) ; ces altérations sans quartz ni mica ont alors un comportement différent des altérites à quartz ; en particulier *les reliefs sur gabbro, ne montrent jamais de "lavaka"* ; c'est un autre critère de différenciation de ces types de milieu. Par contre la saturation (eau non libre) de ces altérites kaoliniques très argileuses, favorise leurs glissements et foirages, parfois sur des versants entiers, qui apparaissent alors très bosselés. Ces mouvements de masse ne vont cependant jamais jusqu'à la véritable coulée boueuse.

Une telle dynamique alimente les nombreuses vallées (unité 43) (peu encaissées par rapport à ce qu'on voit sur les autres reliefs) où transitent les colluvio-alluvions, avant qu'elles s'épandent en nappe dans les plaines aval (unité 45). L'érosion des versants conduit aussi à la formation de petites glaciés colluviaux de piémont à sols argileux très intéressants (voir unité 50), mais de faible étendue.

L'instabilité des versants et leurs pentes fortes s'opposent à la mise en valeur générale de ces reliefs. Seuls les replats dispersés, de faible étendue, peuvent convenir. Du point de vue strictement pédologique, les sols sur gabbro sont parmi les sols ferrallitiques les plus favorables de la région, spécialement en raison de leurs excellentes propriétés physiques.

I. 2. LES RELIEFS ACCIDENTÉS ET PENTUS A EROSION MODEREE NON GENERALISEE

Par rapport aux précédents, ces reliefs, bien que présentant de très fortes limitations pour l'agriculture, sont cependant un peu moins défavorables. Les pentes générales sont, ici aussi, *supérieure* à 20 %, mais elles dépassent rarement 40 % (excepté pour les convexités basales des reliefs en "demi-oranges"). Les versants présentent des "arrondis" sommitaux. L'érosion ne prend pas des formes aussi spectaculaires ; quand elle existe, elle est moins brutale, non généralisée, localisée. Les vallées peuvent être occupées par des bas-fonds tourbeux et non plus seulement par des alluvions à transits actifs (excepté dans les zones à "lavaka"). Les nappes phréatiques d'altérites ou les "poches d'eau" discontinues sont assez fréquentes.

Toutes ces caractéristiques différencient donc bien ces types de milieu par rapport aux reliefs très accidentés précédents (unités 1 à 6). En fonction de la *géologie* ("provinces" lithologiques et dispositions structurales des roches responsables de l'altération et de l'érosion différentielles), de l'importance des actions "internes" des *nappes phréatiques* d'altérites, 5 systèmes ou sous-systèmes "morphogénétiques", caractérisés par des modèles, des altérations, des régimes hydrologiques et des morphodynamiques spécifiques dans leurs interdépendances, se dégagent "naturellement" dans le paysage :

I. 2. 1. LES RELIEFS STRUCTURAUX ORIENTÉS, SUR MIGMATITES ARMEES DE LAMES DE GRANITE (UNITES 7 ET 8)

Ces types de milieu sont conditionnés exclusivement par la présence de grosses lames de granite, orientées NNW-SSE, armant les migmatites encaissantes. Rappelons que les gneiss, les migmatites et les granites (d'anatexie) résultent tous (dans cet ordre croissant) d'un métamorphisme intense ayant affecté de vieilles roches sédimentaires (grès, schistes,...) et que leur disposition structurale actuelle, en strates redressées ou plissées, est le résultat d'orogénèses précambriennes (donc très anciennes) ; orogénèse et métamorphisme sont d'ailleurs liés. Postérieurement à leur mise en place les cycles nombreux successifs érosion/altération ont "raboté" ces chaînes de montagne, dont il ne reste aujourd'hui que le "cœur", les racines des plissements. Ce couple "altération/déblaiement des altérites" n'avait pas la même valeur et n'a donc pas affecté de la même façon toutes les roches. Certaines, comme les gneiss et les migmatites, se sont altérées plus vite et plus profondément que d'autres, comme les granites, plus résistants, et par conséquent ont pu subir un déblaiement (ou un fluage) préférentiel, induisant dans le modèle actuel des mises en relief et des évidements différentiels. Les lames de granite épaisses et serrées, inter stratifiées dans les migmatites, ont ainsi permis à l'ensemble orienté (direction structurale dominante NNW-SSE) de rester en relief,

alors que les migmatites voisines à barres granitiques absentes (ou moins denses et moins larges) ont pu être évacuées et creusées, en dégageant des gouttières et alvéoles occupées par des reliefs multi-convexes en "demi-oranges", ou par de grandes vallées alluviales à "baiboho".

Cette influence géologique "litho-structurale" sur la physiographie régionale d'ensemble par l'intermédiaire du modelé, est particulièrement nette au Sud de la cuvette du lac Alaotra ; à cet endroit, cette cuvette se ferme irrégulièrement par de nombreuses rides granitiques "protubérantes", alternant avec des gouttières d'évidement migmatitiques, toutes deux sub-parallèles et orientées NNW-SSE.

Ces reliefs orientés, à épaisse armature granitique se différencient en fonction de la vigueur du modelé, des pentes et de leur mise en relief dans le paysage :

I. 2. 1. 1. LES RIDES MONTAGNEUSES TRES PENTUES (UNITE 7)

Elles constituent les axes centraux, les plus élevés et accidentés, des reliefs orientés ; ces rides sont les mieux "armées" par les barres de granite, celles-ci étant à ces endroits particulièrement épaisses et serrées au sein des migmatites : ces crêtes allongées encadrent les alvéoles à collines en "demi-oranges" sur migmatites, où sont logées les gouttières à "baiboho" de la Sasomangana et de l'Ilakana. Le plus gros ensemble est le massif de l'Ambohiborona.

Ces massifs étroits culminent par des crêtes fines sub-parallèles coïncidant avec les barres de granite à pendage sub-vertical. Entre les crêtes, se logent des gouttières très étroites sur migmatites. Les grands versants, à formes d'ensemble rectilignes plutôt que convexes, qui forment les flancs externes des rides, ont des pentes très raides, entre 30 et 50 % ; ces versants sont disséqués par des vallées radiales encaissées et très pentues, sans alluvions et canalisant les ruissellements. Lorsque des barres de granite inaltéré ne s'opposent pas à la formation et au recul des lavaka dans les altérites migmatitiques, ceux-ci (unité 1) éventrent de façon spectaculaire les flancs des rides. L'intérieur des massifs est "protégé" par les lames de granite et présente alors un modelé "perché" adouci, à stabilité morpho-dynamique (absence d'érosion), avec larges ondulations concavo-convexes et quelques bas-fonds ; ceux-ci sont cependant peu nombreux et généralement non "fonctionnels", c'est à dire qu'il ne représentent plus actuellement des lieux d'émergence de nappes phréatiques. Celles-ci ont été rabattues, du fait des évidements des gouttières périphériques et latérales ayant fait baisser les niveaux de base.

Les sols sont composés d'une association comprenant d'une part des "sols ferrallitiques fortement désaturés", de couleur jaune-ocre/rose, à texture argilo-sableuse et structure massive, *sur migmatites*, et d'autre part des sols ferrallitiques jaune limono-sableux (sables grossiers) associés

à des sols peu évolués d'érosion sableux (sables grossiers) sur arènes granitiques. Les premiers sont localisés sur les flancs et dans les gouttières entre les crêtes granitiques ; le deuxième groupe caractérise ces mêmes crêtes. Cartographiquement nous n'avons pas pu les différencier, mais nous avons indiqué les principales barres granitiques qui arment le relief et où sont situés les sols les plus sableux et massifs et donc les plus défavorables.

Les contraintes de ce type de milieu sont essentiellement d'ordre topographique ; les sols quant à eux sont très médiocres : faible réservoir hydrique, propriétés physiques défavorables (massivité, richesse en sables grossiers), extrême pauvreté chimique. Ces sols ne sont pourtant pas spécifiques à l'unité de milieu ; on retrouve ces défauts à des degrés divers dans tous les sols développés sur roches quartzeuses (gneiss et migmatites). A ces inconvénients s'ajoutent les problèmes d'accessibilité et localement de morcellement par des champs de lavaka très denses.

En conclusion, nous pensons que ces reliefs n'offrent aucun intérêt agricole dans le contexte humain actuel.

I. 2. 1. 2. LES RELIEFS CONVEXO-CONCAVES A PENTES MOYENNES (UNITE 8)

Comme l'ensemble précédent, ce type de milieu est orienté suivant la direction NNW-SSE correspondant à l'orientation structurale des barres granitiques du socle, interstratifiées avec les migmatites et inclinées suivant un pendage Est très redressé, parfois sub-vertical.

Ici cependant, l'armature granitique est moins serrée ; la résultante du couple "altération/érosion" se traduit donc par un abaissement altitudinal du modelé général par rapport aux rides dominantes précédentes. Mais comparé à ce même couple relatif aux migmatites franches nous sommes quand même en position nettement dominante, avec une orientation NNW-SSE très perceptible. Nous verrons que cette orientation s'atténue ou disparaît, sur gneiss et migmatite, le modelé présentant alors un "fouillis" de collines en "demi-oranges".

C'est toujours dans la zone Sud de la région, entre la Lohafasika-Ouest et la Lohafasika-Est, que ces reliefs orientés sont les plus marqués. On les observe également, mais beaucoup moins nettement, sur les bassins occidentaux de la cuvette (où ils sont plutôt orientés N-S) ; ils se remarquent alors par une altitude plus élevée, une orientation nette, et une densité de bas-fonds moins importante qu'aux alentours.

Cet ensemble morpho-pédologique est relativement moins accidenté en général. Il s'agit d'ondulations convexo-concaves, présentant des pentes de l'ordre de 20-40 %. Contrairement aux "demi-oranges" environnantes, il n'y a généralement pas de réseaux de bas-fonds "fonctionnels" (marécageux) ; on remarque seulement des vallons "secs" plus ou moins colluvionnés, représentant des bas-fonds anciens, où la nappe phréatique n'affleure plus,

celle-ci ayant été rabattue, consécutivement à la "descente" du modelé environnant, elle-même conditionnée par l'évolution du niveau de base de la cuvette de l'Alaotra. Ces ondulations concavo-convexes sans bas-fonds peuvent donc être considérées comme un *modelé hérité*, figé, façonné (creep, fluage, convexisation...) à une époque où les nappes phréatiques étaient plus hautes dans les altérites et avaient donc une action plus directe sur l'évolution des versants.

Au Sud de la région, ce modelé figé et leurs altérites sous-jacentes sur migmatites, hérités de conditions hydrologiques (nappe haute) et phyto-climatiques (climat plus humide, végétation forestière) passées, ont été soutenus par les barres granitiques, maintenus en position "perchée" alors que les reliefs en 1/2 oranges desgouttières voisines, continuaient à s'abaisser. Ces reliefs se trouvent de ce fait en *fort déséquilibre morpho-climatique* ; le climat plus contrasté, les nappes très rabattues, la couverture forestière disparue, caractérisant les conditions actuelles, déstabilisent ces altérites, qui ont une tendance à glisser par leur propre poids (dénivelées de 50 à 100 mètres), sur leur base gorgée d'eau. Les convexités des flancs externes de ces reliefs en déséquilibre sont éventrées par des champs de lavaka anastomosés extrêmement denses et profonds. Des pans entiers de montagne pourrie sont cisailés et s'effondrent, puis sont évacués, pour alimenter les baiboho situés en aval. Les barres granitiques sont trop discontinues et étroites pour stopper le recul des lavaka dont la force d'inertie est considérable, du fait du poids des altérites en déséquilibre.

Une telle morphodynamique caractérise le Sud et le Sud-Est de la région. Le déséquilibre (dénivellation moindre) est moins grand sur les reliefs orientés de la région occidentale, et les lavaka n'y ont pas encore démarré.

Les sols, sur migmatites, sont des "*sols ferrallitiques très désaturés*", de couleur ocre dans la partie supérieure, rose en profondeur ; ils sont de texture argilo-sableuse (en moyenne 20 % d'argile, 20 % de limon, 20 % de sable fin, 40 % de sable grossier) ; leur structure est peu développée, à tendance massive, ce caractère étant en relation avec la richesse en quartz. Sur le terrain, la texture semble plus sableuse du fait de la présence, de pseudo-sables : agglomérats nodulaires stables (diamètre inférieur à 1 mm) de quartz, fer et argile, conférant au sol comme pour de vrais sables une faible capacité de rétention en eau.

Du point de vue chimique ces sols sont très pauvres (capacité d'échange inférieure à 3 mé %, pH de l'ordre de 5 à 5,5, phosphore total (Olsen) en dessous de 20 ppm). Suivant les endroits les contraintes pour la mise en valeur agricole sont plus ou moins importantes. En règle générale, ces reliefs offrent un très faible intérêt pour l'agriculture. Les zones à lavaka (et à pentes fortes) où les versants sont déchiquetés

et réduits à des pans étroits, sont inutilisables. Les zones sommitales convexes et les reliefs à ondulations peu pentues (moins de 20 %) situés au Nord d'une ligne "Ambatondrazaka-Manakambahiny" pourraient être utilisés dans un contexte différent du contexte actuel ; d'autres zones de "tanety" sont plus intéressantes et prioritaires, dans l'optique d'une agriculture mécanisée.

I. 2. 2. LES RELIEFS MULTI-CONVEXES ("DEMI-ORANGES") SUR GNEISS ET MIGMATITES (UNITES 9 ET 10)

Nous sommes ici parmi les types de paysage les plus caractéristiques de la périphérie Ouest et Sud-Ouest de la Cuvette du lac Alaotra. L'extension des reliefs en "1/2 oranges", caractérisés par un "moutonnement" d'arrondis, y couvre une superficie considérable ; topographiquement, ils occupent les espaces situés entre les plateaux sommitaux (unités 14 et 15) et les niveaux de base, actuels ou récents, de la cuvette du lac.

Le modèle est composé d'une multitude d'interfluvies fortement convexes, "découpés" par un réseau dense de "bas-fonds" (unité 23) structuré en "bois de rennes" (ou "feuilles de chênes") terminés en amont par des amphithéâtres. Les sommets des collines sont arrondis, les flancs ont des pentes qui augmentent d'amont en aval, pour atteindre, en milieu et bas de versant au maximum de la convexité, des valeurs très élevées (de l'ordre de 50 à 60 %). Très souvent, surtout quand les versants se raccordent non pas à des bas-fonds proprement dits mais, plus en aval, à des plaines de niveau de base, ces versants montrent une étroite concavité basale (de l'ordre de 20 à 50 m de large) représentant le "raccordement de fluage" (voir explication ci-dessous) avec ces niveaux de base ou avec des "terrasses" récentes qu'ils dominent légèrement (unités 21 et 22). Par contre quand le versant se raccorde directement à un bas-fond, le prolongement concave de la convexité tend à disparaître.

Les dénivellations entre sommets "d'arrondis" et bas-fonds voisins sont très élevées, entre 50 et 75 mètres. Génétiquement ces "demi-oranges" résultent de la "dégradation" des surfaces d'aplanissement sommitales situées en amont, entre 840 et 1 000 mètres d'altitude. Cette surface, qui représente un niveau de base (des nappes phréatiques et des eaux de surface) ancien, a été "défoncée" par un réseau de vallons des suites de l'abaissement du niveau de base de la cuvette du lac. Cette évolution s'est probablement déroulée dans des conditions forestières de climat humide. Les eaux de surface ont entaillé linéairement la surface plane. Les altérites des versants, par des mouvements de masse superficiels du type "reptation" en marches d'escaliers, ont glissé sur les versants, puis ont été évacuées par les cours d'eau. L'absence de morphodynamique par action mécanique strictement superficielle des eaux de ruissellement empêche la "rectification" régulière des versants dont la "convexisation" progressive n'est ainsi pas contrariée ; puis, le réseau de vallons a fini par recouper

la nappe phréatique logée dans les altérites, induisant un "fluage" basal de ces altérites, sous les bas de versants, qui se sont alors "concavisés" sur une frange étroite correspondant à un changement d'état mécanique (semi-fluidité) de ces matériaux gorgés d'eau. Les bas-fonds se sont élargis, leurs bordures reculant parallèlement à eux-mêmes aux dépens des bas de versants "flués". Ces altérites fluées étaient évacuées à l'état boueux dans les entailles sinueuses des bas-fonds; ceci s'est poursuivi jusqu'au moment où un équilibre a été atteint, empêchant la dynamique d'élargissement par "fonte" des versants de se dérouler indéfiniment. Cet état de stabilité résulte d'un "équilibre des forces" entre divers processus : mouvements de "creep" des altérites des versants, pente de leur convexité, angle de recoupement de leur nappe phréatique etc.. Cet antagonisme de processus (que nous ne discutons pas ici dans le détail), sous forêt et en climat humide aboutit à la physionomie caractéristique que constitue ce moutonnement de "demi-oranges", séparées par un réseau dense de bas-fonds plats marécageux non alluviaux en forme de "bois de renne" où affleurent les nappes phréatiques qui se prolongent sous les interfluves.

Cette évolution d'une surface plane d'origine, par défoncement, ultra-convexisation et abaissement topographique des collines, est caractéristique de la morphogenèse tropicale humide ; celle-ci affecte des altérations très épaisses (parfois plus de 50 mètres) au sein de "volumes pourris" (sans noyaux durs de roches saines), imbibés à leur base par des "nappes phréatiques d'altérites", sans lesquelles le couple "convexisation/bas-fonds plats sans remblaiement", ne pourrait exister. C'est sur gneiss et migmatites que cette évolution est la plus favorisée car ces roches s'altèrent plus vite (absence de "noyaux" durs) que les granites et il s'y forme des nappes phréatiques alors que sur altérites de roches non quartzeuses on n'a pas de tels réservoirs aquifères.

Actuellement les conditions initiales de genèse de ces formes ne sont plus les mêmes : le climat est plus contrasté, la forêt a disparu et les nappes phréatiques ont baissé. Les altérites des "demi-oranges" sont de plus en plus en déséquilibre gravitaire relatif et les versants sont potentiellement instables. Ce déséquilibre latent ne s'est pourtant pas encore traduit par un réajustement généralisé ; seuls quelques lavaka se forment sur les convexités les plus pentues à dénivelées les plus fortes . Le "seuil de déclenchement" de l'érosion généralisée, alors qu'il est dépassé au Sud et au Sud Est de la région (où on observe une éventration généralisée en lavaka, en particulier sur les unités 7 et 8), n'est pas encore atteint dans cette partie occidentale.

Nous avons cependant, dans ce grand ensemble, opéré une subdivision . Celle-ci est basée sur l'intensité du décapage qui traduit une différence de stabilité morphodynamique.

I. 2. 2. 1. DEMI-ORANGES A DECAPAGE ASSEZ IMPORTANT (UNITE 9)

Cette unité intéresse les zones "sensibles", plus instables, prédisposées à l'érosion, du fait de leur situation particulière : par exemple les bordures de grandes vallées ayant créé des dénivellations importantes et où l'érosion a ainsi été préférentiellement activée.

L'érosion s'y manifeste, non pas sous forme de lavaka généralisés, mais plutôt sous la forme de décapages discontinus superficiels, par l'action mécanique directe des eaux de ruissellement : érosion en nappe, concentrée localement en petits ravins, reptation particulièrement active en "pieds de vaches" avec décollements étagés de la tranche superficielle (20 à 40 cm) des sols. Cette érosion alimente en sable les bas-fonds, recouvrant le sable lavé tourbeux stable antérieur (unité 22). Ces bas-fonds perdent leurs propriétés de "vrais" bas-fonds, passant alors à des "vallées de transit", elles même alimentant des gouttières alluviales plus importantes à baibohos.

Les sols sont ici des ferrallitiques "ocre/rose" ou "rose", limono-sableux à sableux, riches en sables grossiers, compacts, peu structurés, à faible capacité de rétention en eau.

Ces "demi-oranges décapées" et très pentues n'ont pas d'intérêt agricole.

I. 2. 2. 2. DEMI-ORANGES A DECAPAGE FAIBLE A NUL (UNITE 10)

Ce type de milieu peut être considéré comme stable dans la mesure où les formes et les altérites sont peu retouchées, malgré les conditions hydro-morpho-climatiques actuelles différentes des conditions de leur genèse ; le modèle est figé dans une stabilité apparente ; celle-ci cache cependant un déséquilibre potentiel qui peut devenir manifeste assez rapidement du fait d'une intervention humaine intempestive. Autrement dit, la capacité "homéostatique" du sous-système que constitue cette unité, qui caractérisait et permettait son auto-régulation lorsqu'elle était en équilibre dans des conditions de milieu antérieures, est actuellement "descendue" à un niveau plus bas ; une intervention extérieure, l'homme par exemple, est susceptible d'y déclencher beaucoup plus rapidement maintenant des processus de dégradation sans que des mécanismes de rétroactions négatives, qui maintenaient autrefois sa cohérence, s'y opposent. Cet état d'équilibre d'une forme "figée", découlant de l'hystérésis qui décale les causes (conditions actuelles de milieu) par rapport aux processus de rééquilibrage, est parfois qualifié d'équilibre "pénestable" (selon la terminologie de J. TRICART, qui oppose ces milieux aux milieux "stables" et aux milieux "instables").

Les seules formes de *morphodynamique actuelle* qu'on y observe (mis à part *quelques lavaka* isolés) sont les "*pieds de vache*". Il s'agit de décollements superficiels et de reptation étagée à direction centrifuge, en bandes perpendiculaires aux pentes des versants. Comme son nom peut le faire croire cette dynamique "*en pieds de vache*", assez systématique sur les collines convexes, n'est pas le fait fondamental du passage des troupeaux (même si ceux-ci peuvent amplifier le processus). Il s'agit d'une dynamique naturelle qui met en mouvement par gravité la couche supérieure du sol, du fait de son imbibition superficielle. Cette reptation est activée par "auto-catalyse" liée au gradient de la pente, qui augmente de l'amont vers l'aval des versants convexes : les décollements aval font démarrer et activent de façon régressive les décollements amont.

Les sols de ces "*demi-oranges*" sub-stables (ou "*pénestables*") sont des "*sols ferrallitiques fortement désaturés*", "*ocre ou rouge/rose*", limono à argilo-sableux (sables grossiers), à structure massive. Ils sont chimiquement extrêmement pauvres, leur capacité de rétention en eau est faible.

L'*aptitude agricole* de ces reliefs est très médiocre dans leur ensemble. Seuls, éventuellement, les sommets d'interfluvés, du fait de leur topographie plus favorable, pourraient être cultivés. Cependant ces sites sont toujours étroits, disséminés et difficiles d'accès. Si on ajoute à cela, la médiocrité des sols, on voit que l'intérêt de tels sites est tout relatif, dans le contexte socio-économique actuel.

1. 2. 3. LES RELIEFS STRUCTURAUX ORIENTÉS SUR GNEISS A AMPHIBOLE ET AMPHIBOLITE (UNITE 11)

Cette unité (ainsi que l'unité 12 suivante qui lui est géographiquement associée) est localisée à l'Est et au Nord-Est de la cuvette ; elle a en commun avec les unités 7 et 8, qu'elle présente comme ces dernières une *disposition d'ensemble orientée NNW-SSE*, directement en relation avec la *structure et la lithologie du substratum géologique*. Ici, celui-ci est composé de roches "*mélanocrates*" (roches sombres), riches en minéraux "*basiques*" ferro-magnésiens, en particulier en *amphiboles*. Elles sont cependant différentes des gabbros, car elles contiennent aussi quartz et mica ; mais ces minéraux sont beaucoup moins abondants que sur granites, et migmatites. Il s'agit d'*amphibolites* et de *gneiss à amphiboles* imbriqués, les secondes étant plus riches en quartz et mica que les premières qui elles, sont plus riches en minéraux ferro-magnésiens.

Le substratum Précambrien présente une orientation de ces couches plissées ayant, une fois "*rabotées*" par les "*aplanissements*" multiples, une direction privilégiée NNW-SSE, qui est mise en relief et ainsi révélée, par les processus altération/érosion, *couple dont le rapport n'a pas la même valeur suivant le type de roche considéré (voir les explications relatives aux unités 7 et 8)*.

En ce qui concerne les gneiss à amphibole et les amphibolites, leur armature est constituée par la présence de *barres de quartzites* interstratifiées et de *filons de quartz* ayant également la même direction que leurs roches encaissantes. Ces roches dures peu altérées ont contribué à la mise en relief des alignements amphibolitiques.

L'altération de ces roches est plus argileuse et plus rouge que sur roches "acides" (granites, migmatites, gneiss non mélanocrates). Elle est moins favorable à la constitution de réserves aquifères (eau libre) ; seules les altérites dérivées des gneiss à amphibole en contiennent sous forme de lentilles discontinues. Ces deux caractéristiques (altérites argileuses et nappes phréatiques rares et discontinues), ajoutées à la présence d'armatures quartzitiques, ont conditionné l'évolution des versants et expliquent le modelé et les formes de la morphodynamique actuelle.

Le modelé est celui de reliefs en bandes, faciles à circonscrire, larges de 500 à 2 000 mètres, armés de façon plus ou moins apparente par des rides centrales correspondant aux passages de quartzites ; leurs dénivellations par rapport aux piémonts collinaires (voir unité 12) sont de l'ordre d'une centaine de mètres. Ces reliefs assez aérés, sans figures d'érosion généralisée, ne donnent pas l'impression d'une grande vigueur comparés aux reliefs décrits précédemment (unités 1 à 9). Les profils des versants sont réguliers, à tendance générale concave, à pentes comprises entre 20 et 30 % se relevant régulièrement jusqu'à la crête sommitale assez sinueuse. Par comparaison avec les "demi-oranges", ici les pentes les plus fortes sont atteintes en remontant vers les sommets d'interfluves, alors que pour les premières c'est en descendant les versants que, par augmentation régulière de la convexité, l'on voit les pentes les plus élevées.

La concavité offre donc un avantage sur la convexité, dans l'optique de la mise en valeur agricole ; les reliefs concaves sont en effet beaucoup plus faciles d'accès et se prêtent mieux à une mécanisation.

Les sols sur roches mélanocrates se reconnaissent aisément à leur couleur rouge vif et non plus ocre, jaune ou rose, couleurs qui elles, caractérisent les sols sur roches acides (granites, migmatites, gneiss non mélanocrates), la roche saine n'est pratiquement jamais visible à l'affleurement. Elle est surmontée d'une grande épaisseur d'altérations bariolées (violacées, blanches, rouges...) se terminant au sommet par un sol ferrallitique de 1 à 4 mètres d'épaisseur. Celui-ci est rouge, très argileux (50 à 65 %), très bien structuré. La couleur rouge est le fait d'une richesse en fer plus importante de ce type de roches, d'un état plus déshydraté de ce fer et d'une meilleure liaison aux argiles que pour les sols jaunes et ocres. Ces sols possèdent une micro-nodulation composée de pseudo-sables qui les rendent très filtrants. Le pH de ces sols est voisin de 6 (moins acide que celui des sols ocre, jaune et rose), le complexe absorbant a une capacité d'échange (en dessous de 30 cm) comprise entre 3 et 5 mé %, donc également un peu meilleure que pour les sols dérivant de migmatites ou de granites.

La morphodynamique affectant ce type de milieu est conditionnée par la présence ou non d'une nappe phréatique dans les altérations, elle même conditionnée par la lithologie du substratum : absence de nappe d'eau libre dans les altérites d'amphibolites strictes, nappes présentes mais discontinues dans les altérites de gneiss à amphibole. Les versants façonnés sur les premières (amphibolites) ne montrent pas de lavaka, mais des *glissements lents en masse* sur quelques mètres d'épaisseur, affectant l'altérite argileuse lorsque l'infiltration a été suffisante pour qu'elle soit gorgée d'eau. On observe alors des bosselements, associés à des ravinements, de même type que sur les massifs de gabbro (unité 6), mais ici beaucoup moins généralisés. Sur les secondes (gneiss à amphibole) les altérites glissent sur une nappe d'eau libre, et opèrent un cisaillement dans la partie supérieure plus rigide ; cela conduit à la formation de *lavaka*. Ceux-ci ne sont cependant jamais très denses ; ils restent au stade "lavaka unique" sans atteindre (ou très rarement) le stade paroxysmal de "lavaka coalescents" comme par exemple on peut l'observer sur les migmatites, au Sud, au Sud-Est et au Nord de la cuvette (à l'intérieur des unités 3,5,7 et 8).

Le jugement concernant *l'aptitude agricole* de ces reliefs doit tenir compte d'éléments positifs ou d'éléments négatifs replacés à l'intérieur de l'ensemble de la région. Ce n'est qu'un *jugement relativisé*, un classement obtenu par comparaison, que nous pouvons émettre. Il est également à moduler en fonction du type de mise en valeur envisagé qui peut aller de la mécanisation intensive sur grandes parcelles, jusqu'au simple "grattage" à la houe sur de petites parcelles. Il est évident que dans ces 2 cas, les contraintes et les paramètres de jugement ne peuvent pas être les mêmes.

Les facteurs favorables tiennent à la *qualité relativement bonne des sols rouges* comparés aux autres "sols de tanety" : propriétés physiques (structure, texture), et chimiques sont meilleures. En particulier ces sols rouges ont des pH un peu moins bas que les autres.

Comparés aux autres reliefs, ces reliefs concaves, à pentes égales, sont moins défavorables que les reliefs convexes (demi-oranges), les pentes fortes ici, ne se relevant que progressivement vers le sommet. De sorte que l'accessibilité et la "compacité" des terroirs sont plus intéressantes. Ces reliefs en effet, sont peu morcelés et peu cloisonnés. La mise en valeur des zones collinaires plus basses intéressantes (unité 12) pourra, si nécessaire, "déborder", sans discontinuité ni rupture de pente brutale, sur les bas-versants de ces reliefs, et les remonter si la technicité de l'exploitant le permet.

Les facteurs défavorables sont évidemment d'ordre topographique : contraintes dues à la pente elle-même (supérieure à 20 %) gênant les travaux de mécanisation (travail du sol, récoltes...), et contraintes dues au déclenchement éventuel de l'érosion qui impose des précautions anti-érosives.

Ces reliefs ne sont pas prioritaires actuellement. Nous proposons de les boiser (Eucalyptus ou pin) comme c'est déjà fait sur un certain nombre de sites entre Imerimandroso et Ambohidava. Mais si leur mise en valeur agricole devait être envisagée dans l'avenir, les dispositifs anti-érosifs seront indispensables. Tout se fera selon les courbes de niveau. Les techniques "bio-culturelles" (paillage, plantes de couvertures, cultures associées, bandes alternées...) seront combinées avec les aménagements proprement dits : ceux-ci comprendront un système de levées serrées et parfaitement entretenues, par exemple étroites de 1 à 2 mètres, hautes de 1 mètres et espacées d'environ 20 mètres, plantées d'arbres ou arbustes. Ces levées seront doublées en amont de chenaux de diversion des eaux de ruissellement suivant une pente faible (1 à 3 ‰).

Les travaux de labour seront difficiles mais on peut imaginer une rectification progressive de la pente par constitution de terrasses consécutivement à la redistribution de la terre d'amont vers l'aval par les travaux du sol.

I. 3. LES RELIEFS COLLINAIRES PEU PENTUS A EROSION FAIBLE OU NULLE

Comparés aux reliefs précédents, ceux-ci s'en différencient par des pentes moins élevées, comprises entre 10 et 20 ‰. Il s'agit de zones généralement stables où on voit peu de figures d'érosion. Ce sont les seuls points communs aux quatre unités qui composent cet ensemble qui, par ailleurs, résultent de genèses bien distinctes et sont affectées de caractéristiques hydro-morphopédologiques différentes, justifiant leur individualisation :

1. 3. 1. LES COLLINES SUR GNEISS A AMPHIBOLE ET AMPHIBOLITE (UNITE 12)

Cette unité de milieu est associée géographiquement à l'unité 11 (voir ci-dessus). Elle est sous-tendue par le même substratum géologique. La différence qui explique ici un modelé plus doux, est, d'une part l'absence ou la moindre fréquence de barres quartzitiques et de filons quartzeux et d'autre part, la plus grande fréquence de gneiss à amphibole par rapport aux amphibolites. Ces différences suffisent à expliquer qu'entre des reliefs allongés pentus (unité 11) se trouvent des gouttières collinaires à pentes plus faibles qui constituent l'unité dont il est question maintenant. Il est intéressant, "structuralement" de constater que le couple "unité 11/ unité 12" sur roches mélanocrates à armature quartzitique est tout à fait comparable génétiquement au couple "unité 7/unité 8", qui lui intéressait les migmatites à armature granitique. C'est la même opposition "altération/ érosion" différentielles, mais appliquée à des ensembles géologiquement différents, qui a conduit au couple "mise en relief/évidement en gouttière".

Les altérations sur "roches amphibolitiques" sont épaisses (plusieurs dizaines de mètres) et assez bariolées (dominance des "violet" et "blanc" par rapport aux "rose"). Les roches intactes ne sont jamais visibles. Les altérations sont terminées dans leur partie supérieure par un sol ferrallitique de couleur rouge (voir plus loin). Une nappe phréatique imbibe généralement la base des altérites relativement riches en sables (ce qui semble une condition nécessaire, sinon suffisante, pour la constitution d'une nappe d'eau libre). Ces considérations sont importantes car déterminantes sur l'évolution des versants vers l'état où on les observe actuellement.

Le modelé est constitué de larges interfluves collinaires, concavo-convexes ; ces reliefs sont généralement dominés en amont par des rides plus pentues (unité 11) avec lesquelles elles se raccordent par des concavités ; ils dominent à leur tour, par des convexités cette fois, des bas-fonds fonctionnels à nappe sub-affleurante (unité 23) et des petites vallées (unité 25). Ces versants se prolongent souvent, en aval, selon une bonne continuité concave, par des terrasses récentes (unités 20, 21 ou 22). Mises ensemble, ces unités de milieu forment de larges blocs d'un seul tenant, topographiquement homogènes, circonstance très favorable pour l'utilisation agricole.

Les sols sont assez comparables à ceux qui ont été décrits précédemment sur les reliefs dominants (unité 11).

Ce sont des "sols ferrallitiques fortement désaturés" (comme tous ceux de la région), épais de plusieurs mètres, rouges, argileux, très bien structurés, très drainants.

Comparés aux sols ocre, jaune ou rose développés sur altérites de "roches acides" ces sols sur "roches basiques", en diffèrent par leur couleur rouge très vive, leur plus forte teneur en argile, aux alentours de 60 % contre 30 % (après destruction des "pseudo-sables" nodulaires ferrugino-kaoliniques), une plus faible teneur en sables quartzeux (moins de 20 % contre 60 %), une structure très développée, (alors qu'elle est massive sur les sols de "roches acides").

Du point de vue de leurs caractères analytiques ils diffèrent assez sensiblement des sols jaune, ocre et rose bien que restant cependant à un niveau chimique très bas : la somme des bases échangeables est toujours inférieure à 3 mé % (elle est inférieure à 1 mé % sur les sols ocre et jaune) ; la capacité d'échange est inférieure à 5 mé % (elle est inférieure à 3 mé % sur les sols ocre et jaune). Le pH est aux alentours de 6 (contre 5 sur migmatite, granite et gneiss). La teneur en phosphore total (Olsen) est inférieure à 20 ppm. Le taux de matière organique est de l'ordre de 2,5 % (comparable aux autres sols) ; le rapport C/N est voisin de 9 (minéralisation et humification rapides des débris végétaux).

Concernant l'aptitude culturale, ces collines à sols rouges constituent le type de milieu le plus intéressant pour l'agriculture pluviale, de la région du lac Alaotra. Ce jugement est étayé, autant, sinon davantage par

les qualités relatives de cet ensemble comparativement aux autres unités de milieu que par ses qualités purement intrinsèques.

Les sols sur roches amphibolitiques sont, avec les sols sur gabbro (unités 6 et 14), les moins défavorables, autant par leurs propriétés physiques (stabilité structurale, porosité) qui en font d'excellents supports à l'enracinement que par leurs propriétés chimiques. Ces sols sont moins acides que les autres et leur complexe absorbant est d'un niveau moins bas.

La topographie, les conditions d'accès, l'homogénéité, la taille et la forme des unités, sont également des conditions extrêmement favorables à la mise en valeur. Les pentes sont inférieures à 15 % et régulières ; le tracé des pistes d'accès et de traversées est facilité par le fait que ces unités sont en continuité, sans ruptures de pente, avec les terrasses et niveaux de base actuels.

Une mise en valeur agricole en grandes parcelles à mécanisation lourde devra cependant se faire dans un esprit de conservation des sols. Bien que ceux-ci présentent une stabilité structurale relativement bonne (comparée à celle des autres sols de tanety), les pentes de 10 à 15 % régulières (non coupées d'obstacles) et affectant de longs versants sont propices à l'érosion en nappe puis à sa concentration en ravinements.

Tous les travaux du sol se feront impérativement suivant les courbes de niveau. Les techniques bio-culturelles, telles que les cultures *en bandes alternées* associant légumineuses fourragères de couverture et cultures vivrières, l'alternance cultures vivrières - jachères à engrais verts, sont à préconiser. Les systèmes de cultures devront trouver le meilleur compromis entre système de production et système de protection du sol. A priori l'élevage devrait tenir une place importante, ce qui est tout à fait compatible avec une agriculture conservatrice du sol.

Des aménagements proprement dits devront aussi être envisagés. Les pentes régulières comprises entre 10 et 15 %, pourront être traitées de la façon suivante (selon des normes moyennes pour ces pentes et ces types de sols) : construction d'un système de banquettes espacées de 50 mètres (pour les pentes de 15 %) à 75 mètres (pour les pentes de 10 %), larges d'environ 2 mètres, hautes de 75 cm ; ces banquettes seront doublées à l'arrière immédiat par un réseau de fossés destinés à collecter et évacuer les eaux en excès non infiltrées. Dans ces fossés les eaux ne devront pas ruisseler sur plus de 200 mètres afin de ne pas atteindre une vitesse érosive.

Lorsque la densité des talwegs naturels ou bas-fonds qui drainent les versants est insuffisante pour assurer l'évacuation des eaux de diversion, ce qui sera généralement le cas, il faudra creuser des fossés perpendiculaires aux courbes de niveau, chargés d'évacuer les eaux suivant les lignes de plus grande pente. Généralement, pour le dimensionnement de ces fossés on préconise 1,5 mètre de large sur 0,5 mètre de profondeur par hectare drainé. Tous les chemins d'eau seront si possible enherbés.

1. 3. 2. LES RESTES D'EDIFICE VOLCANIQUE BASALTIQUE (UNITE 13)

Ce type de milieu est limité au volcan (quaternaire ancien) dégradé et couvert d'altérations, situé au NE immédiat d'Amparafaravola. Il ne pouvait se rattacher à aucune autre unité de la région ce qui nous a obligé à le différencier.

Il s'agit d'un massif assez bien circonscrit d'1,5 km de diamètre, culminant à 898 mètres d'altitude. Les versants, assez réguliers (malgré quelques chicots de grosses boules basaltiques), non entaillés de vallées, ont des pentes moyennes de 10 à 12 %.

Cet édifice volcanique est composé de *basaltes* (effusifs et explosifs) de la série des "*ankaratrites*", c'est à dire, par rapport à la moyenne des basaltes communs, sous-saturés en silice, donc sans feldspaths, mais à feldspathoïdes du type néphéline, associés à l'olivine. Le basalte sain *en place* n'est pas visible. On ne l'observe que sous la forme de blocs noirs de toutes tailles, au sein d'une matrice argileuse résultant d'un mélange remanié d'altérites argileuses basaltiques et gneissiques (roche encaissante) jaunâtre ayant glissé sur les flancs de la colline.

Pour comprendre cette disposition des matériaux, il faut considérer l'évolution antérieure : le volcan du quaternaire ancien s'est encaissé dans des altérites gneissiques, qu'il a, par ses projections, recouvert. A cette époque le niveau de base général était plus haut et correspondait probablement aux plateaux disséqués situés au Nord et à l'Ouest d'Amparafaravola vers 900 mètres d'altitude, donc au moins aussi haut que le sommet actuel de l'édifice résiduel.

Le *défoncement* de cette surface haute, l'évolution des versants par *converxisation*, ont fait intervenir, comme nous l'avons vu plus haut, la *reptation* des argiles sur les versants et le *fluage* des altérites noyées par la nappe phréatique à la base ; cette dynamique, par l'intermédiaire des argiles d'altération, a englobé l'édifice volcanique qui, à l'origine, émergeait très peu des plateaux gneissiques. De sorte qu'à l'heure actuelle, on observe un mélange de ces altérites englobant des blocs basaltiques sains résiduels. Au piémont et à l'Est du massif, ces "altérites mixtes" jaunâtre, bariolées en profondeur, à blocs basaltiques, ont été impliquées dans le façonnement des *glacis-terrasses* perchés au-dessus du niveau de base actuel, et représentant un niveau de base ancien. Ces replats sont constitués ailleurs, d'altérites gneissiques fluées. Ici les altérites basaltiques s'y sont mélangées, mais la genèse de ce glacis-terrasse est strictement comparable, contemporaine, donc assimilable aux autres lambeaux ne possédant pas d'alluvions stratifiées (unité 18).

Ce type de milieu, à pentes moyennes assez régulières, à sols ferrallitiques bien structurés (plus intéressants que sur roches acides), facile d'accès, est intéressant pour l'agriculture pluviale, moyennant les mêmes précautions antiérosives que celles que nous avons préconisées précédemment (unité 12).

I. 3. 3. LES REPLATS SOMMITAUX COLLINAIRES DES MASSIFS DE GABBRO (UNITE 14)

D'étendue également très limitée, de formes très irrégulières et découpées, ces replats sommitaux sont exclusivement associés aux massifs de gabbro (unité 6) du Nord de la région.

Les "replats", perchés aux alentours de 1 000 mètres d'altitude, sont probablement contemporains des "plateaux" sur gneiss et migmatites (unité 16), et donc comme eux, témoins de niveaux de base anciens (tertiaire). Cependant leur mode de façonnement et leur dégradation postérieure ont été différents, le rôle des nappes phréatiques ayant été nul (du fait de leur absence) sur gabbro ; les phénomènes de "fluage" (sur lesquels nous reviendrons) ayant donc été inopérants sur ces types d'altération, les aplanissements y ont été moins bien réalisés, restant au stade collinaire.

Le modelé est composé d'ondulations à pentes moyennes inférieures à 15 %. La dissection est faible sur les replats mêmes, mais l'érosion, sous forme de mouvements de masse ou de ravinements, est active en périphérie et "mange" progressivement les zones sommitales des massifs.

Les sols et les altérations sont typiques de roches basiques sans quartz, sans micas et riches en minéraux ferro-magnésiens. Les altérites, épaisses de plus de 10 mètres, bariolées (teintes violacées et blanchâtres) sans nappe phréatique, sont surmontées de sols ferrallitiques fortement désaturés. Ceux-ci, sont rouge sombre, homogènes, très argileux (plus de 60 % d'argile, moins de 10 % de sables grossiers), très bien structurés (structure polyédrique anguleuse moyenne à fine). Ils présentent un pH de 6, donc moins acide que celui des sols ferrallitiques sur migmatites, une capacité d'échange relativement élevée (7 à 8 mé %), une somme des bases échangeables de 3 mé %.

Ces sols sont donc parmi les plus intéressants de la région.

Malheureusement ils occupent des positions peu accessibles qui font que la mise en valeur de ces zones n'est pas prioritaire et qu'elle est très difficile à envisager dans l'optique d'une agriculture mécanisée.

I. 3. 4. LES VERSANTS DE RACCORDEMENT ENTRE GLACIS-TERRASSES PERCHÉS ET PLAINES DE NIVEAU DE BASE ACTUEL (UNITE 15)

Ces versants relient les lambeaux de glacis-terrasse à matériau stratifié alluvial (ancien niveau de base), au niveau de base fonctionnel actuel de la cuvette du lac Alaotra. Cette unité de milieu intéresse la partie Sud-Ouest de la région cartographiée, où se trouvent, à l'exclusion d'autres zones, les reliques perchées de ces anciens niveaux de base à matériaux alluviaux.

Du point de vue géomorphologique cette unité 15 se rapproche donc des unités 9 et 10 ("demi-oranges", en position intermédiaire entre les plateaux sommitaux et la plaine et bas-fonds fonctionnels). Bien que caractérisée aussi par des convexités (celles-ci étant moins marquées), cette unité 15 diffère des reliefs en "demi-oranges" par les modalités suivantes : elle est toujours *directement dominée* par des surfaces planes, alors que la convexité des "demi-oranges" affectait également les sommets des collines ; d'autre part la *dénivellation* avec la plaine actuelle est moins grande (moins de 50 mètres) que dans le cas des "demi-oranges" (plus de 50 mètres) ; ensuite, les *pentcs des versants*, comprises ici entre 10 et 20 %, sont nettement moins élevées ; enfin, ces versants forment des ensembles cohérents peu "disséqués", non découpés par des réseaux de bas-fonds. Toutes ces caractéristiques font que ce type de milieu présente des avantages pour la mise en valeur, par rapport aux "demi-oranges" qui elles, sont pratiquement inutilisables.

Les sols terminent de puissantes altérations (plusieurs dizaines de mètres) riches en sables quartzeux, sur migmatites (celles-ci étant toujours invisibles à l'affleurement) ; ces altérites sont baignées en profondeur par une nappe phréatique. Au sommet se trouvent des "sols ferrallitiques fortement désaturés", argilo-sableux, de couleur "ocre/rose", compacts, massifs, faiblement structurés, à faible réservoir hydrique.

Ces versants sont "stables" c'est à dire que la morphodynamique actuelle y est peu active. Il n'y a pas de lavaka ; on observe de temps en temps des *bosselements* sur les grands versants ; il s'agit d'un processus de "rectification" des convexités (formes héritées de conditions antérieures plus humides, forestières, à nappe plus "haute"), par mouvement généralisé lent des altérites glissant sur leur base "lustrée" et fluante, imbibée par la nappe phréatique profonde.

La mise en valeur de ces versants est possible, mais elle n'est absolument pas prioritaire dans le contexte actuel. Les "plateaux" et "glacis-terrasses", abondants dans cette zone, sont beaucoup plus favorables et pour la majorité, encore inexploités (voir unités 16 à 19).

D'autre part les pentes relativement importantes et la faible stabilité structurale (richesse en sable) des sols exigeraient des mesures anti-érosives peut être plus draconiennes que celles qui ont été proposées pour les sols rouges collinaires sur roches amphibolitiques (unité 12) comportant des pentes semblables. D'autre part, par rapport à ces dernières, ces versants de raccordement sur migmatites, ont des sols nettement moins favorables et plus érodibles.

DEUXIEME PARTIE

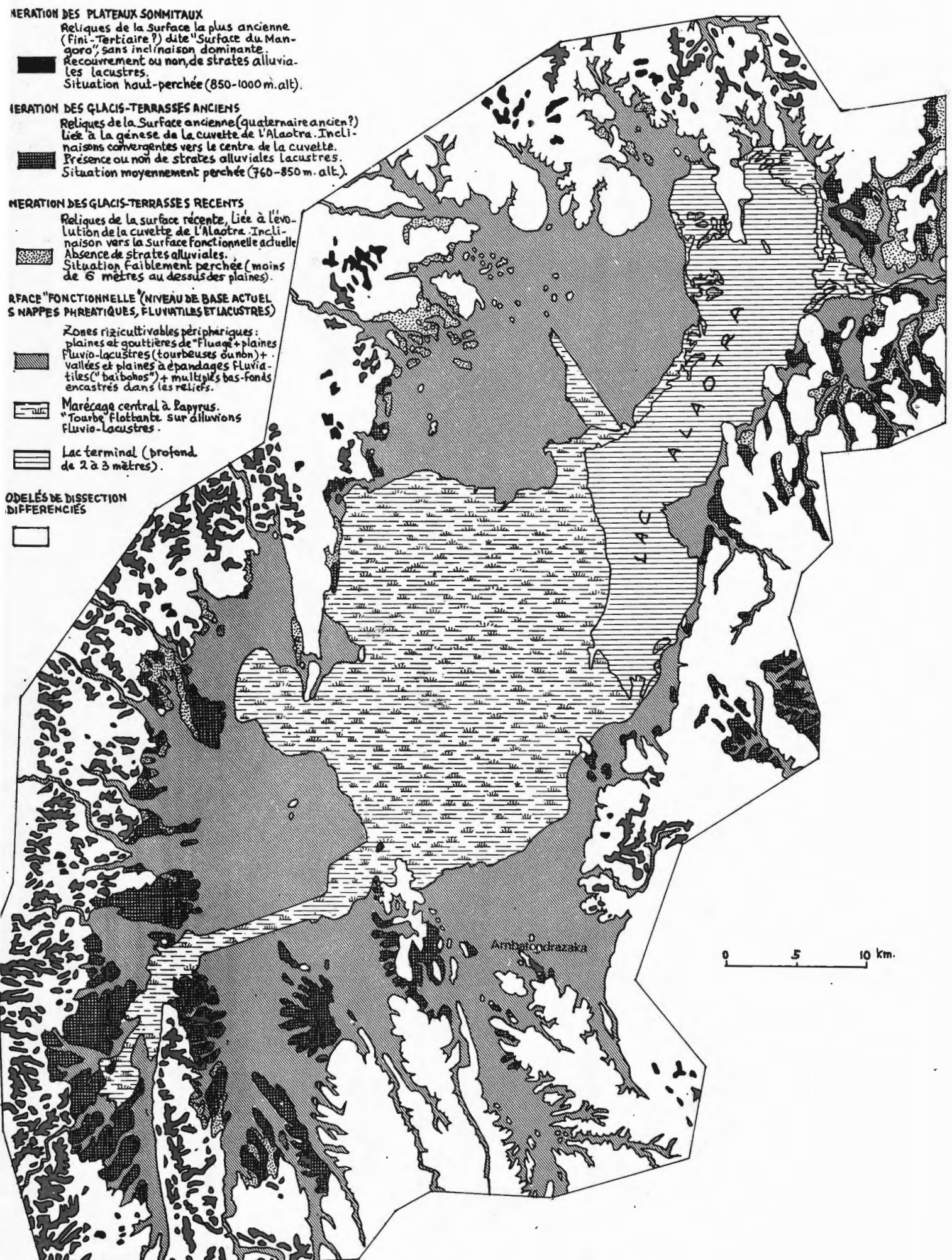
II - LES NIVEAUX DE BASE ANCIENS

Ces types de milieu ont des particularités et des genèses fort différentes de celles qui caractérisent les modelés de dissection étudiés précédemment, bien que les uns et les autres ne soient pas sans relations comme nous l'avons vu. Nous quittons maintenant les collines et montagnes pour aborder les zones planes, sub-horizontales (plateaux et glacis-terrasses) *nettement perchées au-dessus des plaines actuelles*.

Ces "surfaces planes" perchées forment plusieurs ensembles distincts, soit des plateaux sommitaux, entre 840 et 1 000 mètres d'altitude, sans orientation sensible et privilégiée vers le lac Alaotra, découpés irrégulièrement en forme de lanières et dominant le moutonnement des "demi-oranges" (unités 9 et 10), soit des glacis-terrasses situés à moins de 800 mètres d'altitude, qui eux, présentent généralement une nette inclinaison vers la cuvette du lac Alaotra ; leur pente est sub-horizontale à l'aval et se redresse, quand elle n'est pas interrompue et isolée en buttes, par une concavité pouvant atteindre 3 %, en amont. Ce profil en long concave et cette continuité sans rupture de pente nous permettent de parler de "glacis-terrasses" et non pas de "terrasses" proprement dites dans le sens étroit du terme, même si ces formes prennent effectivement l'allure de terrasses en aval (spécialement quand l'évolution postérieure de ce modelé les a isolé de leurs racines amont). La taille et le développement des glacis-terrasses sont de plus en plus larges et leurs dénivellations au-dessus des plaines actuelles sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que l'on descend vers l'aval, alors que pour les plateaux sommitaux c'est l'inverse, le même gradient de taille et de dénivellée est de direction centrifuge.

Il nous semble indispensable ici, de consacrer à la formation de ces surfaces, un développement assez détaillé. Ces explications sont fondamentales pour la compréhension de l'ensemble de la région, en particulier des plaines périphériques du lac. Cette mise au point, relative à la formation des surfaces d'aplanissement, dépassera même le cadre régional.

En effet un point extrêmement important à considérer pour ces surfaces planes ("aplanissements"), concerne leur genèse ainsi que l'origine et la mise en place des matériaux d'altération qui les sous-tendent. Les résultats, réflexions et conclusions, des divers auteurs (géologues et pédologues) qui, dans le passé, ont abordé cette région révèlent de façon



M. RAUNET, 1984.

Fig.2

LES NIVEAUX DE BASE SUCCESSIFS ETAGÉS PÉRIPHÉRIQUES AU LAC ALAOTRA

significative leur embarras au sujet de l'interprétation à donner aux formes et aux matériaux. Beaucoup y ont vu simplement des alluvions lacustres anciennes perchées, en parlant de terrasses étagées, d'autres des alluvions fluviatiles récentes (sables "jaunes" ou "blancs") superposées à des matériaux dits "lacustres", apparemment sans se soucier, mais la confusion des explications suffit à les révéler, des multiples contradictions (relatives à l'imbrication "âge-étagement-phase lacustre-phase fluviatile") que leurs affirmations impliquaient.

Cette confusion vient de la *présence ou de l'absence sous des plateaux apparemment identiques, sans que les lois de repartition en soient trouvées, de matériaux altérés stratifiés*, également fort semblables que l'on soit à proximité de la cuvette ou très éloigné, sous ces surfaces planes. Autrement dit, entre l'altérite en place et la surface topographique peuvent ou non se trouver des strates horizontales de matériau apparemment alluvial, sans qu'on sache pourquoi et comment on les trouve ou on ne les trouve pas dans des situations semblables ou diverses. De tels "illogismes" apparents nous ont également embarrassés au début de l'étude. Ce n'est qu'en cours d'étude et de mieux en mieux vers la fin, que la solution nous est apparue, à la lumière des multiples comparaisons tous azimuts que nous avons pu faire, aussi bien dans les plaines elles-mêmes que sous les plateaux sommitaux et à tous les niveaux intermédiaires. Pour la résolution de tels problèmes, qui se posent souvent aux pédologues et géomorphologues, c'est souvent plus la méthode comparative que la méthode exclusivement analytique qui apporte la solution, ou du moins "l'hypothèse forte". L'examen trop prolongé d'une coupe débouche sur une "impassé heuristique" s'il n'est pas associé de façon dialectique à un "balayage comparatif horizontal" de l'ensemble environnant.

Seules les deux méthodes combinées permettent de dégager la "signification" des indices et de débloquent ainsi la situation ; le décryptage d'un fait n'est possible que si celui-ci est replacé dans le paysage c'est à dire dans l'ensemble des faits auxquels il s'oppose et en même temps avec lesquels il s'articule, en interdépendance "vitale" (c'est à dire que le fait isolé a peu de signification).

Pour revenir à nos "aplanissements" et matériaux sous-jacents, nos enquêtes et raisonnements par "va-et-vient" nous ont conduit aux conclusions suivantes : les surfaces d'aplanissement ne sont le résultat ni de simples remblaiements alluviaux ni d'une morphodynamique "balayante" externe due à des ruissellements superficiels en conditions climatiques agressives semi-arides, comme on l'entend dire trop souvent, mais de mécanismes endogènes intervenant au contraire en conditions de climat humide et probablement forestières. Ces processus se manifestent par la dynamique des altérites argilo-sableuses très épaisses, gorgées par une nappe phréatique profonde. C'est l'abaissement du niveau de base général (ici lié à l'enfoncement de l'exutoire de Maningory) qui provoque un déséquilibre dans le maintien et la cohérence de ces altérites et qui est à l'origine, sur l'ensemble du bassin, d'un enchaînement et d'une imbrication de processus "finalisés"; ces altérites fluent vers le niveau de base

abaissé et s'étalent aux pieds des "reliefs pourris" sans noyaux durs, dont les versants reculent, laissant la place à des "glacis-plaine" de fluage. Les matériaux de "fluage" issus d'une telle dynamique de mise en place ne sont ni des alluvions ni de vrais colluvions dans leurs acceptions habituelles (ne faisant pas intervenir les nappes phréatiques), bien que par certains aspects, ils se rapprochent des unes et des autres. Leur distinction est cependant fondamentale et indispensable ; c'est pourquoi nous continuerons, en l'absence de terme consacré exprimant ce concept, de parler de "matériaux de fluage" ou "d'altérites fluées". Le terme de fluage est en réalité ce que nous pouvons appeler une "semi métaphore d'action". Il veut exprimer en même temps le résultat final du processus et ce processus lui-même. En accélérant le temps on observerait "de visu" devant nous un tel fluage à l'état boueux. En réalité ce processus très lent et insensible à l'échelle humaine ne s'est pas passé de cette façon imagée mais par des affaissements lents, dont le résultat global et final est identique à un fluage ; donc l'emploi du terme "fluage" (comme d'autres termes, "lavage" ou "lessivage" par exemple) est commode mais on ne doit pas être dupe, sachant qu'il recouvre des processus "nécessaires" mais non perceptibles , donc non spécifiquement conceptualisés par un mot.

Une partie importante des altérites "fluées" est évacuée à l'état "boueux" par les axes d'écoulement qui sinuent sur le nouveau niveau de base (avant de rejoindre l'exutoire). Ces "glacis-plaines" sont donc couverts de matériaux argilo-sableux issus de la redistribution horizontale des altérites gneissiques ou migmatitiques. En aval des glacis-plaines, si l'exutoire est insuffisant à évacuer rapidement les eaux et matériaux, (ce qui a été le cas à l'amont de l'exutoire du Maningory) ceux-ci s'accumulent en alluvions "fluvio-deltaïques" ou lacustres. Les matériaux argilo-sableux transportés par les eaux courantes et soumis à leur compétence variable dans le temps et l'espace, subissent alors une nouvelle redistribution, sous forme de tri granulométrique : sables (régimes turbulents) alternés avec argiles (régime de décantation lente). Cette répartition des matériaux est conforme à ce qu'on observe actuellement dans les plaines périphériques au lac Alaotra, entre les tanety et les marais à "zozoro". Il y a un passage latéral d'amont (glacis-plaine) en aval ("plaine") de la cuvette, entre "argiles sableuses de fluage" peu triées et "argile-sable" alluviaux triés et stratifiés.

Cette comparaison des formes et matériaux reliques étagés.. autour de la cuvette, avec les formes et matériaux fonctionnels actuels au niveau de base de la cuvette, nous a éclairé sur le pourquoi et le comment de la genèse de ces "aplanissements " étagés et des matériaux qui les sous-tendent.

On peut ainsi énoncer "l'hypothèse forte" suivante : ce qui se passe en ce moment autour de la plaine pour le niveau de base actuel (mise en place des matériaux, dynamique des eaux et évolution des versants de bordure), s'est déroulé de la même façon dans le passé quand les niveaux

de base étaient plus haut perchés ; les plateaux et glacis tertiaires périphériques, sont alors des reliques(ou héritages) de ces niveaux de base antérieurs. Les matériaux qu'on y trouve on suivi les mêmes lois de mise en place qu'actuellement autour du lac : argile-sableuse de fluage, associée en aval à argile et sable stratifiés alluviaux.

Le recouvrement de l'un par l'autre est possible et même courant comme nous l'ont prouvé nos diverses observations. C'est ce fait qui nous a tracassé le plus longtemps, maintenant son explication est facilement déductible des hypothèses précédentes : le "fluage régressif" des versants s'est opéré de façon irrégulière et différée, selon des gouttières pénétrant en "doigts de gants" dans les reliefs, qui eux, seront affectés plus tard par cette dynamique, (influences litho-structurales) ; autrement dit, il s'opère un fluage "différentiel" dans le temps et dans l'espace lié aux hétérogénéités lithologiques du socle qui font que les profondeurs d'altérations et les nappes qui les noient et qui commandent ce fluage n'ont pas partout atteint le même stade.

Cette disposition actuelle, en gouttières "surcreusées" dans les roches gneissiques séparées par des "môles" granitiques plus résistants, est tout à fait nette au Sud de la cuvette. Ainsi, des alluvions en position aval d'une gouttière peuvent être recouvertes après coup par des argiles sableuses issues du fluage postérieur des versants voisins, de bordure ; l'étalement de ces altérites fluées, sans grand transport, recouvrant des alluvions, explique très bien ce que l'on observe assez fréquemment : strates triées très nettes recouvertes par une épaisse couche argilo-sableuse non triée (non alluviale). Naturellement des situations intermédiaires de matériaux "mixtes" (semi-triage par transport insuffisant des matériaux flués) existent.

Cette hypothèse dénoue fort bien "l'impasse" que constituait pour nous au début de notre étude, les apparentes aberrations de répartition des matériaux. Ce qui conforte encore plus cette "hypothèse forte", est que d'autres conséquences déduites logiquement de celle-ci expliquent d'autres faits observés, qui sans le recours à cette hypothèse ne seraient pas explicables .

Si l'interprétation postulant que les surfaces d'aplanissement perchées étaient autrefois des niveaux de base pour les nappes phréatiques, comme l'est maintenant la cuvette périphérique du lac Alaotra, cela implique logiquement que nos plateaux et glacis-terrasses actuellement couverts de sols ferrallitiques jaune ou ocre étaient à l'origine des sols hydromorphes gris comme le sont les sols de la cuvette actuelle. Or ce fait est conforté par la présence systématique sous les reliques des "surfaces d'aplanissement" d'une "plinthite" (argile kaolinique grise marmorisée de rouge) à une profondeur de 2 à 4 mètres, sous le matériau actuellement jaune de surface. Par ailleurs, nous savons avec quasi

certitude que cette plinthite est l'héritage laissé par une ancienne fluctuation de nappe phréatique, celle-ci ayant actuellement une zone d'action située à plus de 10 mètres de profondeur en général. Il est vrai que les sols hydromorphes périphériques au lac sont affectés par une nappe proche de la surface, à faibles battements, donc "gleyifiés", et non pas tachetés ; ce fait semble en contradiction avec la présence d'une plinthite. Mais il faut cependant considérer que, lors de l'abaissement futur du niveau de base, cette nappe subira d'amples fluctuations "marmorisantes" (redistribution du fer) avant sa descente profonde irréversible. Cette plinthite actuellement observée sous les plateaux est donc l'héritage de la phase postérieure à la phase d'engorgement total superficiel, telle qu'on l'observe actuellement autour du lac.

Le jaunissement superficiel, que l'on observe dans les sols des plateaux et qui nous les font classer en "sols ferrallitiques", est dû à l'oxydation postérieure des matériaux remaniés (argile sableuse de fluage ou "sables et argiles" alluviaux). Entre les deux matériaux, l'un autochtone tacheté profond, l'autre allochtone jaune superficiel se trouve très souvent une *ligne de gravats* ("stone line" des anglo-saxons) composée de fragments quartzeux issus du "fauchage" des filons du socle lors de la dynamique de fluage des altérites migmatitiques. Nous pensons sans disposer, cette fois d'arguments suffisants pour en faire une "hypothèse forte" que la formation de la "stone line" est liée étroitement au fluage et aux aplanissements tels que nous les avons envisagés précédemment ; les éléments quartzeux grossiers inaltérables se seraient concentrés à la base des argiles sableuses "semi-fluides" étalées au-dessus et au contact des altérites en place sous-jacentes qui elles, sont restées plus cohérentes. Cette différence de cohérence aurait pour origine la dynamique latérale de la tranche superficielle de la nappe phréatique qui mobilise (et "lave" plus ou moins une partie de ses argiles kaoliniques) le matériau flué suivant une pente relativement sensible, alors que cette nappe est moins mobile en dessous où la pente d'écoulement latéral est plus faible et où le matériau d'altération n'est donc pas affecté par le réajustement d'ensemble lié au déséquilibre qu'à engendré la baisse du niveau de base.

Ces hypothèses expliquent de façon cohérente tous les faits observés lors des comparaisons multiples effectuées. La nappe de gravats, quand elle existe (son existence étant conditionnée par la présence de filons de quartz), est pratiquement toujours au contact entre l'altérite en place marmorisée et le matériau "remanié" supérieur jaune ou ocre.

Ces considérations "génétiques" sont nécessaires à la compréhension de la nature et de la répartition des différents types de surfaces perchées ; mais elles éclairent aussi la compréhension des matériaux et sols des niveaux de base actuels, donc toute la suite de l'exposé consacrée à ces diverses unités et pour lesquelles nous donnerons le moment voulu des précisions supplémentaires qui s'appuieront sur les considérations précédentes et en même temps les complèteront.

Les subdivisions que nous avons introduites dans les "surfaces planes perchées" tiennent compte d'une part de leur inclinaison ou de leur absence d'inclinaison (plateaux ou glacis-terrasse) et d'autre part de la présence ou non de matériau alluvial stratifié ; ces différents faciès, nous venons de le voir, sont étroitement liés génétiquement entre eux, et sont tous commandés par la mise en mouvement des altérites et des nappes phréatiques consécutivement aux déblocages discontinus (événements "catastrophiques") du seuil du Maningory.

II. 1. LES PLATEAUX SOMMITAUX (UNITES 16 ET 17)

Nous englobons dans ces unités de milieu toutes les surfaces planes situées en position dominante par rapport aux paysages environnants, et qui d'autre part ne montrent pas d'inclinaison privilégiée vers le centre de la cuvette de l'Alaotra. Ces plateaux sont situés entre 840 et 1 000 mètres d'altitude. Ils sont les plus abondants sur le bassin occidental de la cuvette, où ils coiffent ou tangent les reliefs convexes en "demi-oranges"

résultant de leur défoncement postérieur (voir ci-dessus, unités 9 et 10). D'ailleurs, ces plateaux sont d'autant plus morcelés, petits et étroits (lanières de moins de 500 mètres de large) qu'ils sont situés vers l'intérieur de la cuvette en position centripète. Ils s'élargissent au contraire, en position centrifuge au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la cuvette. Cela prouve de façon suffisante que leur genèse n'est pas coordonnée avec la formation de l'Alaotra (auquel cas les lambeaux les mieux conservés seraient situés vers l'intérieur). Effectivement, nous verrons plus loin (unités 18 et 19) que cette répartition sera inversée, c'est à dire centripète, pour les "glacis-terrasses", qui eux sont des surfaces d'aplanissement liées génétiquement à "l'enfoncement" de la cuvette de l'Alaotra proprement dite vers laquelle ils sont inclinés.

Nous pensons que ces plateaux sont les témoins d'une "surface d'aplanissement" correspondant au plus ancien niveau de base du grand bassin d'effondrement ("Rift") plus vaste, plus ancien et plus haut que l'Alaotra. Ces zones sont en continuité avec les plateaux de même altitude qui, entre l'escarpement occidental de l'Angavo (escarpement de faille ayant reculé par l'érosion) et la route Mcramanga-Ambatondrazaka, ont un très large développement. La dépression du lac Alaotra proprement dite se serait constituée postérieurement, en partie par une néotectonique à l'intérieur du Rift Ancien (tertiaire) à altérites "pénéplanisées", bien que l'on puisse envisager cette genèse sans faire intervenir obligatoirement et partout la tectonique, comme nous le verrons par la suite, mais que nous

pouvons résumer dès maintenant : creusement progressif ou par "à coups" du seuil du Maningory (fleuve-exutoire), *fluages régressifs* et évacuation des altérites (dont le "trop plein" s'alluvionne au centre de la cuvette) mobilisées par les rabattements corrélatifs des nappes phréatiques qui y étaient logées .

Concernant les détails du modelé, ces plateaux ne sont pas rigoureusement horizontaux. Leur topographie présente de larges ondulations (pentes inférieures à 3 %) qu'ils soient sous-tendus ou non par des alluvions stratifiées, elles-mêmes reposant sur l'altérite en place.

Les plateaux sont généralement de forme allongée (de moins de 1 km de large en général), échancrés et festonnés sur leurs bordures ; celles-ci dominent directement les versants convexes (ces convexités subissant souvent des réajustements gravitaires par glissements en masses étagées , généralisés à l'ensemble du versant) et les bas-fonds tourbeux dont le réseau digité en "feuilles de chênes" découpe la surface d'aplanissement d'origine. Cette surface d'origine, d'après nos hypothèses précédentes, est une ancienne "surface de fluage", localement (et très logiquement) alluvionnée par ses propres altérites fluées puis triées après transport, à sols originellement hydromorphes et à nappe phréatique proche de la surface. Lors de cette dynamique, l'hétérogénéité lithologique, se répercutant donc (bien que de façon amortie) par une hétérogénéité dans la nature et la profondeur des altérations (toute la morphogenèse en région intertropicale passe par leur intermédiaire, ne l'oublions pas, et n'affecte jamais directement le substratum sain) est responsable des ondulations du modelé et en particulier de la présence de bombements, allongés N-S, plus ou moins en relief, traduisant la présence de strates granitiques (moins rapidement altérables) au sein des migmatites. Les différences d'altitude de ces plateaux qui peuvent paraître étagés, faisant penser à autant de "cycles d'aplanissement" différents ne sont dus en fait qu'à l'irrégularité lithologique du substratum, induisant pour la nappe phréatique la formation de niveaux de base locaux plus ou moins décalés, dans un sens ou dans l'autre, par rapport au niveau de base moyen de l'époque. Les fluages "régressifs" des altérites migmatitiques ou gneissiques noyées par les nappes sont venues souvent buter contre les rides granitiques dont les altérations moins épaisses et moins "avancées" ont offert une résistance , ralentissant ainsi ces processus. Cela se traduit dans le modelé par des alignements correspondant au "rabotage" différé et inachevé de ces lames granitiques. De tels alignements pouvant séparer des plateaux étagés ne représentent , contrairement aux hypothèses immédiates venant à l'esprit, ni des escarpements de faille ni des versants de raccordement entre aplanissements multiples échelonnés dans le temps, ou "terrasses" successives qui correspondraient à autant de phases de "descente" du lac Alaotra. Nous éliminons catégoriquement ces deux dernières interprétations, bien qu'elles aient été l'une et l'autre avancées (parfois comme allant de soi), par des auteurs précédents ayant étudié la région. La genèse de la plupart des plateaux, leurs dénivellations les uns par rapport aux autres et leurs modelés, s'expliquent fondamentalement par la dynamique de fluage différentiel des altérites, très étroitement assujettie à la structure et à la lithologie du substratum.

Toutes ces conclusions et "hypothèses fortes" dégagées autour du lac Alaotra, région où les conditions de genèse et d'observations des "surfaces" sont exceptionnellement favorables, aussi bien dans la plaine elle-même au sein de laquelle les processus se passent à l'heure actuelle, que sur les "tanety" et plateaux périphériques où n'en subsistent que des héritages passés, sont en grande partie extrapolables à l'ensemble des surfaces d'aplanissement intertropicales. Les arguments prélevés près du lac Alaotra, ajoutés à de nombreux autres faits éparpillés en Afrique (que nous n'exposerons pas ici), nous permettent de dire que les surfaces d'aplanissement intertropicales se sont pour la plupart (sauf peut être en Afrique Nord-Occidentale), formées en conditions de climat très humide et (probablement forestières), par des *mécanismes endogènes, internes aux altérites* ayant pour agent moteur physico-chimique les nappes phréatiques d'altérites ; notre interprétation s'oppose radicalement à la théorie, entérinée par l'habitude, que de telles surfaces ne peuvent être le fait que de conditions de milieux agressives à climat très contrasté responsables d'un mécanisme externe celui-là, qui est le balayage érosif par les eaux de surface. L'hypothèse "interne"-climat humide nous semble beaucoup plus satisfaisante que l'hypothèse "externe"-climat sub-aride, qui nécessite l'intervention constante, commode mais abusive, de changements climatiques pendant le quaternaire. Ceux-ci nous l'avons vu, ne sont absolument pas "nécessaires" bien au contraire*. Naturellement nous ne nions pas les fluctuations morpho-climatiques du quaternaire, nous disons simplement qu'elles n'expliquent pas tout et qu'elles ne sont pas à corréler avec les périodes d'aplanissement ; une erreur fondamentale et grave, à notre avis, est justement d'induire des phases sèches (et leur datation) à partir de la présence de surfaces d'aplanissement dont on s'efforce de reconstituer l'âge. La chronologie du quaternaire est à revoir à chaque fois quelle a abusé de cette méthode (à Madagascar en particulier).

Pour en venir maintenant aux matériaux, sols et alluvions de nos plateaux, nous avons vu que deux cas possibles co-existent suivant la présence ou l'absence de matériaux stratifiés alluviaux entre la surface du plateau et l'altération en place.

Nous n'avons observé des alluvions "perchées" que sous les plateaux des régions occidentales (au Sud du parallèle passant par le barrage de la Sahamamy) et Sud-Occidentales. Au Nord et à l'Est les plateaux, ayant la même morphologie et situés dans la même classe d'altitudes, ne s'appuient pas sur des alluvions.

* Ces nouvelles hypothèses sur la formation des surfaces d'aplanissement intertropicales, appuyées sur des arguments multigéographiques, feront prochainement l'objet d'une publication de notre part.

II. 1. 1. LES PLATEAUX SOMMITAUX SANS MATERIAU STRATIFIE ALLUVIAL (UNITE 16)

Ces plateaux occupent essentiellement les parties Nord et Est de la région. Dans la région occidentale, la plupart sont sous-tendus par des matériaux stratifiés; cependant cette règle souffre quelques exceptions. Les plateaux de certains secteurs, peuvent, tout en étant contigus, montrer ou non des strates. Cette apparente contradiction s'explique en fait parfaitement par la théorie globale de mise en place des matériaux et de façonnement des "surfaces", telle que nous l'avons exposée précédemment. Alluvionnement stratifié trié et fluage argilo-sableux sans triage, sont localement imbriqués, *à la fois verticalement*, c'est à dire que des argiles sableuses de fluage issus des versants voisins recouvrent des alluvions antérieures résultant d'un transport d'altérites fluées en amont et *à la fois latéralement*, des piémonts de fluage ayant, lors de la formation de la surface "fin-tertiaire", voisiné avec des plaines alluvionnaires plus centrales. Cette répartition, résultant de processus anciens, a suivi les mêmes lois que celles qui président à la mise en place actuelle, par des processus similaires, *des matériaux de la cuvette*.

Ce qu'on peut dire, à un niveau plus général, c'est que les régions où dominent les plateaux sans matériaux stratifiés sous-jacents étaient, à l'époque où la surface constituait un niveau de base général, en position excentrée ou à pente sensible (glacis-plaine) sur laquelle les eaux de ruissellement et les sédiments qu'elle transportaient étaient en transit vers l'aval ; alors que les matériaux stratifiés caractérisent des plateaux qui, à l'origine, faisaient partie du niveau de base central de la cuvette (plaine proprement dite) "Alaotra-Mangoro", vers lequel convergeaient les eaux de ruissellement chargées de sédiments arrachés aux argiles sableuses des glacis-plaines et reliefs périphériques.

Lorsqu'il n'existe pas de strates alluviales, le matériau issu de l'altération des gneiss et migmatites, présente, du haut vers le bas, les caractéristiques (bien observables dans les coupes verticales et profondes des lavaka) suivantes :

. *Matériau jaune ou ocre* (très rarement rouge dans le contexte de la région du lac Alaotra) sans taches; une tendance à la marmorisation peut cependant apparaître à la base de ce matériau de 2 à 5 mètres d'épaisseur. La texture, limono-argilo-sableuse, est riche en sables quartzeux grossiers, parfois très grossiers et même gravillonnaires ; ces derniers résultent manifestement, car étroitement lié à leur présence, du démantèlement et du fractionnement des *filons de quartz* traversant les gneiss et migmatites. La présence de graviers quartzeux répartis sans tri dans le matériau jaune, accompagne souvent la présence d'une "stone line" de cailloux quartzeux anguleux à la base de ce matériau, et de filons de quartz parfois infléchis et fragmentés en place, mais peu déplacés, dans l'altérite gneissique rose autochtone sous-jacente. Quand aux sables fins moyens et une partie des sables grossiers, ils proviennent du ciment quartzeux, libéré par l'altération et le remaniement consécutif au fluage, inhérent aux roches grenues.

Minéralogiquement, l'argile est composée de kaolinite, de gibbsite et de goethite. Ce matériau, compte tenu de nos multiples observations, comparaisons et déductions, nous fait dire qu'il s'est mis en place par "fluage" des altérites des "reliefs pourris" préexistants. Gorgées, déstabilisées et mobilisées par la nappe, elles se sont étalées aux pieds des versants qui fondaient en reculant. (image du morceau de sucre mouillé, qui s'étale).

Le matériau jaune-ocre est massif, sans structure, actuellement apte au cisaillement vertical et au recul des parois par pans rigides entiers, comme on peut l'observer dans les lavaka.

. Une nappe de gravats ("stone-line") peu épaisse, discontinue et facultative, peut matérialiser ou souligner le passage entre le matériau jaune-ocre supérieur et l'altérite tachetée sous-jacente. Elle est composée de fragments anguleux de quartz, ayant pour origine les filons qui traversent le socle et dont une partie, nous l'avons vu, se "perd", après "fauchage" et démantèlement au sein du matériau jaune supérieur, selon une dynamique particulière liée au "fluage" (voir plus loin) et à l'engorgement par des nappes phréatiques "circulantes".

. Une zone tachetée ou plinthite de 1 à quelques mètres d'épaisseur, affectant l'altération en place de la roche. Marbrures et trame ferrugineuse rouges, sont associées à un fond grisâtre déferifié. Il s'agit d'un matériau d'altération ferrugino-kaolinique en place (non ou peu remanié excepté quelques tassements et cisaillements) ; la kaolinisation est bien avancée et les minéraux primaires résiduels de la roches sont peu nombreux (excepté le quartz bien entendu). La marmorisation de ce matériau est un héritage et non une différenciation par des processus actuels ; c'est l'empreinte de la fluctuation d'une nappe phréatique ; celle-ci a été rabattue depuis longtemps ; elle a suivi l'évolution et la descente des niveaux de bases aval.

. La roche pourrie rosâtre, située 3 à 6 mètres sous la surface ne présentant plus de marmorisation, est à un stade d'argilification moins avancée que celui des matériaux du dessus. On y reconnaît la structure de la roche d'origine, (les foliations, les alignements de minéraux, les filons de quartz etc...). C'est ce qu'on appelle généralement la "zone d'altération", le "sol" ferrallitique étant un mot plutôt réservé au matériau coloré homogène supérieur. Cette roche pourrie peut être extrêmement épaisse, jusqu'à 50 mètres ; elle constitue le "cœur" des reliefs de dissection de la surface fin-tertiaire. Elle est imbibée par l'eau libre saturante (nappe phréatique d'altérite) alimentée par l'infiltration des eaux de pluies dans les matériaux supérieurs très filtrants. Nous avons vu que c'est dans ce matériau, sous l'action de la nappe phréatique, que se passent les processus de "réajustements", que ces derniers soient très lents et inobservables dans leur dynamique à l'échelle humaine, comme les "fluages" ou rapides sinon catastrophiques à notre échelle de temps, comme les lavaka.

Le niveau jaune-ocre supérieur, comme nous l'avons dit précédemment, peut être considéré comme mis en place par "fluage" et étalement des altérites gorgées par la nappe, à la base, des "reliefs pourris" préexistants ; ceux-ci ont "fondu" en même temps que leurs versants reculaient. Une partie des matériaux flués était évacuée par les eaux de surface, pour alimenter en alluvions semi-lacustres ou deltaïques les cuvettes et points bas des niveaux de base. Ce matériau jaune était donc à l'origine, selon la logique de cette théorie, *gris hydromorphe*, noyé par une nappe phréatique sub-affleurante. Pendant le processus lent de "fluage", les altérites "fluées" se sont étalées en nappe ("semi-boueuse" ?), donc remaniées, mais sans grand transport horizontal. Cette dynamique était actionnée par la *pesanteur même des altérites* pleines d'eau et par *l'action mécanique latérale des flux hypodermiques* de la partie supérieure de la nappe phréatique. Ces flux latéraux étaient le résultat de la "pente hydraulique" du toit de la nappe, orientée vers le niveau de base aval qu'elle tendait à rattraper, en même temps, ces mouvements de nappe ont "lavé" en partie le matériau flué, évacuant le fer et dans une moindre mesure (variable selon les endroits) l'argile, concourrant ainsi à le déstabiliser encore plus (rétroaction positive). Tous ces processus, traduisant un déséquilibre des altérites, se sont combinés et auto-entretenus pour aboutir à cette dynamique complexe de fluage. Le matériau remanié supérieur "coulissait" d'une certaine manière (le vocabulaire spécifique pour exprimer ces concepts de processus lents inaccessibles à l'échelle humaine est inexistant, ce qui oblige à l'utilisation de métaphores) au dessus de l'altérite en place sous-jacente, qui elle, n'était pas mobilisée, étant restée plus cohérente car moins "lavée" (donc moins destabilisée) et par conséquent peu sollicitée par la force vive des flux latéraux d'eau libre (la nappe à cette profondeur étant moins mobile). Pendant cette même dynamique latérale, lente et complexe, mais dont nous sommes obligés de rendre compte par des "métaphores d'action accélérée", les filons de quartz ont été fauchés, démantelés et desagrégés en sables grossiers, graviers ou cailloux anguleux. Les sables et graviers ont été incorporés sans tri sensible dans l'argile sableuse fluée des quelques mètres supérieurs (bien qu'un gradient s'observe, les plus gros graviers étant plus nombreux dans la partie inférieure) ; les cailloutis, eux, du fait de la dynamique latérale des matériaux "semi-fluides" (?) et des forces de gravité, sont descendus, se sont étalés et se sont concentrés en "nappe de gravats" à la base de ce matériau, au contact avec l'altérite en place non destabilisée sous jacente.

Telle est la "reconstitution" cohérente de la genèse de ces formes et matériaux, qui nous semble la plus plausible et la plus globale donc la plus satisfaisante. Nous n'avons pas parlé de changements climatiques, ceux-ci ne sont en effet absolument pas nécessaires ; au contraire, un climat humide (donc probablement forestier) est requis, pour que les nappes phréatiques, qui, nous y avons suffisamment insisté,

jouant le rôle moteur essentiel, soient suffisamment alimentées. Dans notre hypothèse, l'économie des alternances climatiques tranchées, comme facteur causal déterminant de la genèse des surfaces d'aplanissement (nous ne parlons pas des surfaces d'Afrique Nord-Occidentale qui elles, ont été effectivement touchées plus qu'ailleurs en Afrique tropicale par des morphodynamiques externes balayantes "classiques") nous satisfait pleinement, car leur mise à contribution systématique, dans les théories "classiques" en cours, souvent considérée comme "nécessaire", nous semble abusif, artificiel et trop commode. Naturellement, le quaternaire a certainement (cela est démontré par ailleurs) vu des fluctuations climatiques (moins tranchées cependant en Afrique Méridionale qu'au Nord de l'Equateur), mais leur rôle dans le façonnement des "surfaces" n'est pas celui qu'on pense généralement ; en effet, à notre avis, l'agent de façonnement n'est pas le ruissellement externe résultant de l'intensité des pluies sur un sol à faible couvert végétal, mais les *mouvements internes* des nappes. Le fait qu'on ne conçoive plus la formation des "surfaces" par l'intervention du ruissellement, réduit considérablement le rôle "nécessaire" du climat et l'intérêt qu'on peut avoir à le faire intervenir artificiellement dans la nouvelle théorie. En effet le climat n'est pas indispensable non plus pour expliquer la baisse des nappes et des niveaux de base. Cette baisse des nappes et leurs conséquences sont liées aux *dynamiques*, au fonctionnement et à l'évolution *internes des systèmes que sont les paysages intertropicaux* : approfondissement des altérites → "pourrissement" des reliefs → constitution de réservoirs aquifères ; creusements progressifs des seuils → baisse des nappes → fluages → aplanissements etc... Tout cela peut se faire sous un climat humide invariant. Le climat n'a qu'un rôle indirect possible et un parmi d'autres, sur un des éléments du système (en l'occurrence les nappes) qui déclenche un enchainement de processus irréversibles dans les altérites par le jeu des multiples interdépendances dialectiques "internes", et non (comme on le conçoit souvent) par le jeu de successions linéaires temporelles "externes", *postérieurement* aux changements climatiques.

L'évolution postérieure est la suivante: elle est commandée par la baisse et le drainage latéral des nappes liés à la baisse des niveaux de base consécutivement au creusement du seuil du Maningory et à la tectonique dissymétrique (E-SE) qui pourrait avoir favorisé la genèse de la cuvette de l'Alaotra emboîtée dans le Rift tertiaire plus vaste préexistant (Rift Mangoro-Alaotra). Ce drainage des nappes, du fait d'une évacuation plus rapide des éléments dissous, active l'hydrolyse des roches et la progression de leur altération en profondeur ; ces altérites sont alors, par leurs poids, et les pertes de matière qu'elles ont subi, déstabilisées ; elles fluent à nouveau pour former une nouvelle surface d'aplanissement (surface d'équilibre) située plus bas, suivant les mêmes processus que ceux exposés précédemment. Le défoncement de la surface d'origine s'est accompagné du façonnement en contrebas, de reliefs multiconvexes en "demi-oranges" (voir précédemment, unités 9 et 10) ; les plateaux sommitaux mis en relief sont donc des héritages du premier niveau de base. Le drainage de ces plateaux a provoqué une transformation des matériaux et sols initialement hydromorphes : coloration vive (jaune, ocre, rarement rouge autour du lac Alaotra) du matériau remanié supérieur, par oxydation du fer ; ceux-ci sont préférentiellement sous forme de goethite (oxyde

hydraté). Sans doute la végétation forestière qui a couvert ces plateaux est elle en partie responsable de cette coloration jaune ; sous forêt, les complexes organiques réducteurs et l'absence de dessiccation du sol ne sont pas favorables à une "sesquioxxydation" du fer comme on peut l'observer plus à l'Ouest des Hauts plateaux, où la forêt a disparu depuis plus longtemps, et où le régime hydrique interne du sol est fortement contrasté. Autour du lac Alaotra ces mêmes conditions de contraste hydrique règnent actuellement mais depuis moins longtemps qu'à l'Ouest ; il y a une "inertie" des caractères hérités des conditions forestières antérieures, une *hystérésis* de l'apparition des caractères liés à ce régime contrasté.

Une autre "transformation" de ce matériau remanié supérieur concerne la genèse de *pseudo-sables nodulaires* (agglomérats d'oxydes de fer, d'argile et de sable quartzeux). Cette évolution est encore, pour nous, problématique. Une "*hypothèse faible*", par approche comparative, prenant en compte nos diverses observations Africaines, nous fait supposer (mais non affirmer) l'intervention des termites. Ces insectes s'installent préférentiellement là où les conditions hydriques du sol ou du sous-sol leurs sont favorables, en particulier lorsque la nappe phréatique est ni trop proche, ni trop éloignée de la surface. Lors de la baisse irréversible de cette nappe, il y a un *moment optimum* d'activité biologique préférentielle. Pendant cette phase, les termites ont pu avoir un rôle très important de brassage du sol qui peut expliquer la microstructure nodulaire en pseudo-sables (ceux-ci rappelant indiscutablement une structure d'origine biologique, coprolithique). Cette activité biologique peut d'ailleurs contribuer à la réoxydation et à l'homogénéisation rapide du matériau superficiel. Une telle hypothèse pourrait même à elle seule expliquer la formation de la "stone line". Cependant, dans le contexte du lac Alaotra, "l'hypothèse du fluage" nous semble plus satisfaisante comme facteur causal primaire. Cela n'exclut pas que les 2 ordres de processus aient pu se superposer, et, allant dans le même sens, parachever la concentration caillouteuse. Actuellement l'activité "termitique" semble s'être ralentie sinon arrêtée mais ce n'est pas une raison pour ne pas envisager son rôle passé et pour nier qu'il puisse n'en rester que des empreintes (inertie) ; dans certaines régions africaines (Afrique centrale et Orientale en particulier) ce brassage est actuellement énorme et fortement corrélé à la présence de ces pseudo-sables. Dans ce cas, la mise en relation s'impose à l'observateur ; dans le cas de Madagascar, elle ne s'impose plus car les manifestations externes des termites sont inexistantes.

Le matériau jaune-ocre est actuellement de structure massive (prise en masse à l'état sec) ; cet état est le fait d'un régime hydrique contrasté, lié au régime des pluies (longue saison sèche). Il prédispose au cisaillement vertical, c'est ce qui explique en partie les formes d'érosion spectaculaires que sont les "lavaka", et qui, s'ouvrant sur les flancs convexes des versants échancrent parfois les bordures des plateaux. Le glissement du matériau rigide supérieur sur l'altérite profonde gorgée d'eau, est responsable de ces formes en spatules (poires) à bords supérieurs verticaux (voir unité 1).

Sous la couche jaune-ocre, la plinthite (argile kaolinique tachetée) a acquis ce faciès par les fluctuations des nappes avant et pendant leurs rabattements progressifs. Ces mouvements alternatifs des nappes, ont favorisé une redistribution du fer des altérites sous forme de marbrures.

Sous la plinthite, la roche pourrie rose à minéraux primaires (non digérés par hydrolyse et néoformation) est restée longtemps gorgée par la nappe ; celle-ci l'imbibe encore pour sa plus grande partie (elle suinte à la base des lavaka).

Les sols (au sens strict du terme) concernent la partie supérieure jaune-ocre de la séquence différenciée précédente.

Leur couleur, leur profondeur, la composition minéralogique (kaolinite, gibbsite, oxyde de fer plus ou moins hydraté), leurs caractéristiques chimiques (pH, complexe absorbant) nous les font ranger dans les *sols ferrallitiques fortement désaturés*.

Ces sols ne montrent pas de différences fondamentales avec ceux des autres "surfaces" (unités 17 à 19) développées sur migmatites et gneiss. Cela n'est pas surprenant dans le cadre de l'hypothèse que nous proposons pour leur mise en place. Le matériau d'origine est partout le même, il résulte du fluage d'altérites semblables, déjà affectées par une hydrolyse marquée, donc très appauvries et riches en quartz, et ayant toujours subis lors de cette mise en place les mêmes "lavages" par les nappes, convergeant ainsi vers un *faciès ferrallitique très désaturé*, commun ; une petite différence qui ne saute pas toujours aux yeux mais qui est quand même significative : les sols des plateaux sommitaux sont *jaune-ocre en moyenne*, alors que les sols des glacis-terrasses plus récents (voir plus loin, unités 18 et 19), situés en contrebas sont *jaune*. Leur réoxydation est un peu moins avancée, ce qui est, somme toute, logique, puisqu'ils ont été soustraits à l'action engorgeante superficielle des nappes phréatiques depuis moins longtemps et que ces nappes sont actuellement moins profondes que sous les plateaux sommitaux. D'ailleurs sous les glacis-terrasse, la marmorisation (plinthite) s'observe à une profondeur moins grande en moyenne que sous les plateaux.

Ces sols ont les *caractères physiques* suivants : leur profondeur utile est grande (plus de 2 mètres), il n'y a pas d'obstacles à la pénétration racinaire ; la structure est peu développée, massive, très fragile en surface, poussiéreuse et soufflée lors de travaux mécaniques trop fréquents, compte tenu de la présence de pseudo-sables et de la faible teneur en matière organique (1 à 2 %) ; la texture (appréciation synthétique de terrain) est limono-sableuse, parfois sableuse. L'analyse granulométrique de laboratoire, sans destruction des pseudo-sables, donne en moyenne : 5 à 10 % d'argile, 20 % de limon, 30 à 35 % de sables fins et 40 % de sables grossiers. Après destruction des pseudo-sables cette granulométrie devient : 20 % d'argile, 15 % de limon, 25 % de sables fins, 40 % de sables grossiers.

Leur comportement hydrique au champ est celui de sols sableux à limono-sableux ; la capacité de rétention en eau "utile" (différence entre humidités à pF 4,2 et à pF 3) est très faible (2 à 5 %) ; l'infiltration dans ces sols, est extrêmement rapide.

Les caractères chimiques sont très défavorables (comme pour les sols jaune et ocre sur migmatite et gneiss) : carence forte en phosphore (10 à 25 ppm de phosphore "assimilable", méthode Olsen), en calcium, magnésium et potassium ; la capacité d'échange est comprise entre 3 et 5 mé %. La somme des bases échangeables est inférieure à 1 mé %. Le pH est compris entre 5 et 5,5 en surface et de l'ordre de 5 en profondeur. Il faut donc s'attendre à des toxicités aluminiques et à des carences en oligo-éléments (dont le bore).

L'utilisation agricole, en culture mécanisée, de tous ces plateaux perchés et souvent isolés les uns des autres par des versants convexes très pentus, est en partie conditionnée par leur accessibilité à partir de la plaine. De ce seul point de vue ils sont très nettement moins intéressants que les glacis-terrasses situés en contrebas (unités 18 et 19) qui, en plus de leur accès commode, présentent des surfaces d'un seul tenant beaucoup plus importantes.

Ces sols, pour être mis en valeur de façon économiquement rentable, devront être l'objet du redressement puis du maintien de leur fertilité : apports importants d'amendements calcaires ou calco-magnésiens, amélioration et conservation de la stabilité structurale : enfouissement des résidus de récolte, "jachères cultivées" en légumineuses améliorantes, apport de fumier, travail du sol peu fréquent (charrue à disque déconseillée).

Les pentes, sans être fortes (moins de 3 %), peuvent être longues et donc favorables au ruissellement érosif. Les travaux du sol doivent se faire systématiquement selon les courbes de niveau. L'aménagement anti-érosif lui-même ne semble pas s'imposer, sinon devoir se limiter à la création de cordons isohypses ou levées enherbées coupant le ruissellement.

A côté de ces sols ferrallitiques ocre-jaune qui représentent au moins 95 % de la superficie totale des plateaux, il nous faut mentionner la présence de "sables blancs" (pseudo-podzols) jalonnant d'anciennes gouttières ou cuvettes légèrement déprimées. Ces sols sont des reliques d'anciens sols hydromorphes tourbeux, lavés par les circulations latérales de la nappe phréatique lorsque celle-ci était sub-affleurante, quand le niveau de base était fonctionnel. Les sables blancs purs sont très acides (pH inférieur à 4,5) vidés de toute réserve minérale. Ces sols ont donc une très faible fertilité. Leur amélioration, en l'absence de tout complexe absorbant tampon, est difficile à envisager ; mais ils représentent dans la région cartographiée vraiment peu de choses (ils sont plus étendus entre Andaingo et Moramanga).

II. 1. 2. LES PLATEAUX SOMMITAUX, A MATERIAU STRATIFIÉ ALLUVIAL (UNITE 17)

Ces strates ne présentent pas un faciès homogène, ni en épaisseur, ni en couleur, ni en granulométrie. L'épaisseur peut varier de 5 à 30 mètres ; les strates, de 1 à 4 mètres d'épaisseur chacune, sont de couleurs diversifiées : argilites rouges, blanches, vertes ou bigarrées, sable jaune, argile sableuse gris-jaunâtre avec ou sans stratification entre-croisée. Au sommet et entre les strates manifestement alluviales (sans doute déposées en milieu fluvio-deltaïque), bien triées, à granulométrie fine ou grossière bien tranchée, se trouvent souvent des couches assez épaisses (2 à 5 mètres) de matériau argilo-sableux non trié, massif, homogène, à grains et graviers quartzeux, qui lui, n'est pas typiquement d'origine alluviale, mais que nous interprétons comme un "matériau de fluage" d'altérites, ayant subi de faibles transports, insuffisants pour que s'y opère un tri granulométrique. Nous avons évoqué précédemment le mode de mise en place de ces matériaux, qui résultent de la "fonte" des versants par fluage et étalement basal, au sein d'une nappe phréatique, des altérites épaisses qui les constituent.

Dans cette région Occidentale et Méridionale de la cuvette du lac Alaotra, l'aplanissement fin-tertiaire qui s'est fait en conditions d'hydromorphie (niveau de base des nappes) alternant, dans l'espace et dans le déroulement temporel des processus, des *phases de "fluage"* sans tri, avec faible transport, et des *phases alluviales fluvio-deltaïques* à tri granulométrique, par transport au sein des eaux courantes puis dépôt en conditions semi-lacustres, imbriquant flux turbulents à dépôts de sable (cônes de déjection deltaïques) et décantation argileuse lente (cuvette, marécage, zone lacustre centrale). Malgré leur apparente incompatibilité le fait que les deux processus (fluage et alluvionnement, proprement dit) puissent alterner verticalement leurs dépôts, comme nous l'avons parfois observé, est tout à fait envisageable, sans aucun artifice de raisonnement. Là encore, pour avoir la solution, il faut observer ce qui se passe à l'heure actuelle dans la plaine et particulièrement à sa périphérie centrifuge. Les différences de roches et la disposition structurale de ces roches, font que les processus progressent inégalement. Ils sont plus rapides dans les gouttières "surcreusées" dans les altérites sur roches facilement altérables (gneiss, migmatite) ; les altérites des reliefs de bordures fluent avec un retard par rapport à celles des gouttières à l'aval desquelles se déposent déjà des alluvions au-dessus de l'argile sableuse de "fluage" initiale. De sorte que l'on peut avoir, et c'est en réalité ce qu'on observe assez souvent (et qui pose a priori un problème difficile à résoudre) : alternance locale de matériau alluvial (sables à stratification entrecroisées, argile fine) et matériau de fluage (argile sableuse, sable lavé). Ces deux matériaux en fait ont une origine commune : l'altérite en place ; leur différenciation *soit* en sable et argile stratifiés triés, *soit* en argile sableuse, a pour cause une

différence de transport par les eaux : les altérites, quand elles sont entraînées suffisamment en aval par les eaux de ruissellement, finissent par se trier et se stratifier en vraies alluvions ; quand elles ne font que "fluer" elles subissent un faible transport, ou en tout cas insuffisant pour permettre une séparation efficace entre sable et argile. A ces processus mécaniques (destabilisation, passage à l'état semi-fluide (?) des altérites, étalement ou transport par voie de surface, tri, redépôt stratifié...), s'ajoute, nous le verrons mieux par la suite, un processus physico-géochimique : le "lavage" latéral des argiles sableuses de fluage par les écoulements hypodermiques des nappes, aboutissant à l'élimination progressive des argiles vers l'aval, à la création de matériaux sableux (squelette quartzueux résiduel) et, corrélativement, au colmatage en aval (par ces argiles) de matériaux sableux issus eux-mêmes de façon identique, d'un lavage antérieur. Il y a donc une certaine redistribution par voie interne sub- superficielle, des particules fines, qui aboutit en fait souvent à ne rien changer apparemment à l'argile sableuse d'origine, puisque le *lavage amont*, s'accompagne du *colmatage aval* préalablement lavé, et que la dynamique de ce processus s'opère de façon centrifuge accompagnant la "fonte régressive" des versants.

Ces actions complexes de processus de natures différentes (fluage "différentiel" selon la nature du substratum, transport et dépôts alluviaux triés, lavage, colmatage) sont imbriqués et évoluent dialectiquement dans le temps et l'espace. Leur logique rend compte parfaitement de ce qu'on observe actuellement dans la plaine elle-même (voir plus loin), *mais aussi* des matériaux et formes caractérisant les "surfaces perchées" hérités de la même imbrication de processus, dont la *cause déclenchante fondamentale* est la descente irrégulière, par étapes stabilisatrices, des niveaux de base et donc des nappes phréatiques et des eaux superficielles. La dynamique d'ouverture du seuil aval est liée à la *résistance variable des roches incisées* à cet endroit par les eaux de vidange. On peut donc dire que la "*finalité*" vers laquelle tend le système "périphérique" au lac Alaotra, qui se traduit par le *fonctionnement* des processus imbriqués exposés précédemment, est commandée par ce *point stratégique*, localisé de façon très précise. Il est étonnant de constater, que du creusement d'une simple barre rocheuse dont la dimension transversale est de l'ordre de quelques centaines de mètres à peine, dépend l'évolution d'un paysage de plusieurs milliers de kilomètres carrés. La rapidité de la "réponse" en amont à cette évolution du seuil, est conditionnée d'une part, par les multiples résistances dues à l'hétérogénéité lithologique et structurale du socle, et d'autre part par l'"hystérésis" et l'amortissement obligatoires du fait de l'éloignement et du délai de "transmission de l'information", par la voie des multiples interactions en chaînes, dont la mise en route et l'efficacité opérationnelle sont décalées par rapport à la cause elle-même. Cela explique que l'état d'équilibre vers lequel tend le nouveau système, après une crise de "creusement rapide du seuil" n'est pas atteint partout de la même façon. Même si la cause *fondamentale* est la même, il y a une *différenciation régionale des effets*, en fonction des caractéristiques géologiques, d'éloignement, des caractéristiques morpho-pédologiques et du passé propre des sous-ensembles du milieu. Les intensités, les rapports de force entre multiples processus, et leurs amortissements modulés sont autant de facteurs qui concourent à la différenciation et à l'ordonnancement des "*unités de milieu*" dont l'ensemble forme la *structure "finalisée"* du paysage.

La présence, plus fréquente dans la région Occidentale qu'ailleurs, de "strates alluviales perchées" signifie que nous étions là, en position plus basse du Rift du Mangoro, quand son niveau de base fin-tertiaire était à situer à cette altitude. Le "fluage" des altérites, qui explique les surfaces d'aplanissement, s'est doublé ici, d'un recouvrement alluvial, du fait de la convergence, dans cette situation centrale, des eaux superficielles ayant repris et redistribuée les argiles sableuses des positions plus amont. Les termes du couple "fluage-argile sableuse d'amont/alluvionnement-tri d'aval", sont en relation d'opposition et de complémentarité ; le premier des termes de ce couple a une *dynamique centrifuge*, le second à une *dynamique centripète* par rapport au centre de la *dépression*. Entre les deux "s'insinue" et se superpose un troisième couple "lavage amont/colmatage aval". Ce couple de processus affecte plutôt les argiles sableuses de fluage. Tous ces processus sont identifiables, dans leur imbrication structurée, sur et dans la plaine actuelle. Par contre ils sont amortis ou effacés par l'évolution morpho-édologique postérieure, sur les plateaux reliques, où se superposent trois séries de manifestations décalées dans le temps : les *héritages de leur période de genèse* proprement dite (comparables à ce qu'on observe dans la cuvette actuelle), les *héritages du "réajustement" consécutif à la baisse des nappes*, accompagnant la mise en relief des plateaux-reliques, et enfin les *signes des processus actuels* caractérisant les conditions de milieux différentes des précédentes. La complexité de l'interprétation provient en grande partie du fait que chaque série de mécanismes, non seulement se superpose aux précédentes, mais intègre, utilise et modifie ces dernières à son propre compte.

Les sols des plateaux sont généralement classés dans les "*sols ferrallitiques fortement désaturés*". Ils présentent des caractéristiques moyennes comparables aux sols développés sur les plateaux ne possédant pas de strates alluviales (unité 16).

Nous n'avons pas observé de différences pertinentes et systématiques avec les sols issus des matériaux mis en place uniquement par fluage. Ce qu'on peut quand même dire, c'est qu'ici l'hétérogénéité granulométrique est *sans doute* statistiquement supérieure. Nous n'avons cependant pas fait d'observations suffisamment rapprochées pour apprécier objectivement ce fait. La plupart du temps les strates alluviales (qui comprennent des argiles pures et des sables purs) sont "recouvertes" par un matériau de fluage argilo-sableux terminal ; cela explique que les sols des plateaux, avec ou sans strates alluviales profondes, soient sensiblement identiques dans les 2 cas.

Les sols sont jaune ou ocre sur 2 à 3 mètres de profondeur ; leur granulométrie moyenne de laboratoire après destruction des pseudo-sables est limono-argilo-sableuse (20 % d'argile, 15 % de limon, 25 % de sables fins, 40 % de sables grossiers). Leur particularité, qui est celle de tous les sols ferrallitiques des plateaux, glacis-terrasses et terrasses de la région, est qu'ils contiennent des pseudo-sables nodulaires ;

cela leur confère une *texture* sableuse à limono-sableuse, ce qui donne (sans destruction des pseudo-sables) la répartition granulométrique apparente suivante: 5 à 10 % d'argile, 20 % de limon, 30 à 35 % de sables fins, 40 % de sables grossiers. Ces sols se comportent donc, du point de vue de leurs caractères physiques, mécaniques et hydriques, comme des sols sableux. Leur capacité de rétention en eau "utile" (différence entre humidités à pF 3 et à pF 4,2) est très faible (2 à 5 %). Leur structure est très fragile. Quand ils sont travaillés ils deviennent poussiéreux (sables fins) et "soufflés". En profondeur, leur structure est massive; leur consistance est compacte. Leur pH est aux alentours de 5,5 en surface, de 5 en dessous de 30 cm.

Naturellement ces sols sont d'une extrême pauvreté chimique: ils sont ultra carencés en phosphore (10 à 25 ppm de phosphore "assimilable" - OLSEN). La capacité d'échange (en dessous de 20 cm) est de 3 à 5 mé%. La somme des bases échangeables est inférieure à 1 mé%.

L'intérêt agricole de ces plateaux, (comme des autres, sans strates alluviales) tient essentiellement à leur topographie très favorable qui n'exige pas d'aménagements anti-érosifs particuliers, si ce n'est des précautions culturales de travail du sol. Les sols en eux-mêmes sont chimiquement très pauvres et de qualités physiques très médiocres (qualités bien inférieures à celles des sols rouges sur roches amphibolitiques).

Un caractère défavorable est constitué par leur dispersion et leurs difficultés d'accès à partir de la cuvette du lac Alaotra. Pour y arriver il faut franchir les reliefs convexes très pentus, en "demi-oranges" (voir unités 9 et 10).

Comme pour les plateaux précédents de l'unité 16 (sans matériaux stratifiés, des passages de "sables blancs", lavés, (hérités d'un passé où la nappe phréatique était sub-affleurante et à circulation latérale hypodermique), généralement situés à l'origine en position légèrement déprimée (que cette position soit maintenue ou soit changée des suites de l'évolution postérieure du modelé), sont associés (dans la proportion de 5 % environ) aux sols ocre-jaune ferrallitiques.

Contrairement à ce qui a été avancé par certains auteurs, ces sables blancs ne sont pas des placages alluviaux récents recouvrant les matériaux ferrallitiques des plateaux; ce sont les mêmes matériaux d'origine, mais qui, étant en situation déprimée, ont seulement subi un "lavage" (du fer et de l'argile) par les nappes phréatiques; ce processus physico-géo-chimique s'observe de la même façon actuellement, en des positions bien identifiables et spécifiques (terrasses, bas-fonds..) en périphérie de la cuvette du lac Alaotra (unités 22 à 26, voir ci-dessous). Ces sables blancs purs "pseudo-podzoliques" de 50 à 150 cm d'épaisseur, montrent une accumulation ferrugineuse à la base, sous forme d'un "pseudo-alios" (grès humo-ferrugineux) ou bien sous forme diffuse dans le sable (couleur brune). Ces sols sont extrêmement lessivés, lavés, carencés en tous les éléments, très acides (pH 4 à 4,5), sans structure,

extrêmement filtrants; ils n'offrent aucun intérêt agricole. Ils sont exploités comme matériaux utilitaires (carrières de sable). Par contre lorsqu'ils sont "fonctionnels", nous le verrons dans les bas-fonds (unités 23), la présence à faible profondeur de la nappe phréatique et la tourbe qui les coiffe, peuvent constituer des caractères favorables pour la remontée capillaire de contre saison. Dans le cas des plateaux ce faible avantage n'existe même plus, la nappe étant depuis très longtemps, devenue inaccessible.

II . 2. LES GLACIS-TERRASSES (UNITES 18 ET 19)

Nous serons moins longs au sujet de la genèse de ces unités de milieu, car la majeure partie des explications nécessaires ici sont les mêmes et ont déjà été exposées à l'occasion des plateaux sommitaux (unités 16 et 17) étudiés précédemment. Nous y renvoyons donc le lecteur.

Ce qui distingue ces glacis-terrasses des plateaux, nous l'avons déjà mentionné, est que par rapport à ces derniers, ils présentent une inclinaison (sensible en amont, s'adoucissant jusqu'à devenir imperceptible en aval) convergente de tous côtés vers les niveaux de base actuels, c'est à dire essentiellement les plaines et vallées en "doigts de gant" périphériques au lac Alaotra. On peut donc affirmer que la cuvette de l'Alaotra était déjà individualisée par rapport au grand Rift du Mangoro, à l'intérieur duquel ces glacis s'emboîtent. Les glacis-terrasses actuellement perchés ont donc constitué probablement le (ou les) premiers niveaux de base de la cuvette. Ce n'était pas le cas, nous l'avons vu, pour les plateaux sommitaux qui eux semblent être les témoins d'un niveau de base général et commun au grand Rift, avant l'évident de la cuvette de l'Alaotra proprement dite dont ils ne font donc pas partie du système.

Les reliques de cette génération de "glacis-terrasses" sont les mieux développées au Sud-Ouest de la région. Elles y forment des ensembles structurés en lanières qui s'élargissent tout en divergeant en éventail, à l'approche de la cuvette (Nord de Manakambahiny, amont de Bejofo, aval de Morarano-Atsimo, avancée d'Ambongalava). Cette physiographie a incité certains auteurs à parler à leur sujet de cônes deltaïques ; il n'en est évidemment rien ; ces lanières faisaient partie d'une surface très étendue et homogène en topographie, comparable au niveau de base actuel de la cuvette.

En aval, à l'arrivée dans la cuvette elle-même, ces surfaces présentent une physiographie de "terrasses", parfaitement régulières, hautes en moyenne d'une vingtaine de mètres. En réalité les lanières sont inclinées insensiblement vers le centre de la cuvette (dans le sens de leurs axes d'allongement), pour se raccorder avec un talus à la plaine actuelle, à l'extrême aval. Leur altitude minima est alors d'environ 765 mètres.

En amont, les "terrasses" se redressent sensiblement, montrant cette fois des profils en long de véritables *glacis* concaves; en même temps la dénivellation avec les vallées en doigts de gants qu'elles dominent, augmente jusqu'à atteindre 40 à 75 mètres, à leur raccordement aux collines convexes. Ce raccordement, au Sud Ouest, se fait vers 840 mètres d'altitude.

Ces caractéristiques de pentes, leur nette concavité, leur passage insensible de glacis à terrasse, justifient donc pour ces surfaces leur appellation de "glacis-terrasses". C'est entre Ampasikely (à l'Ouest) et Manakambahiny (au Sud) que les glacis-terrasses occupent les superficies les plus importantes, et qu'ils sont le mieux en évidence dans le paysage.

Ces surfaces sont sous-tendues par des strates alluviales dans leur partie aval à aspect de terrasse ; par contre en amont en position de glacis, les strates de matériau alluvial disparaissent. Il y a une continuité parfaite (pas de rupture de pente) entre les uns et les autres de ces formes et matériaux.

Ailleurs que dans cette région Sud Ouest, en périphérie de la cuvette, mais exclusivement à l'aval des reliefs gneissiques et migmatitiques (à l'exclusion des gabbros), s'observent des lambeaux plus restreints de "surface perchée" parfois réduits à des buttes coupées de leurs racines amont (entre Sahamamy et Sahamaloto par exemple). Mais cette fois, en aucun cas, nous n'avons vu, sous ces buttes, de strates alluviales. Nous n'avons néanmoins, que, (alluvions présentes ou non) ces surfaces, qu'elles soient réduites à des glacis-terrasses, à des terrasses ou à des buttes, appartiennent toutes à un même ensemble préexistant qui correspond au même niveau de base ancien de la cuvette de l'Alaotra.

On peut faire les mêmes considérations qu'au sujet des plateaux sommitaux, pour rendre compte de la présence ou de l'absence de strates alluviales. Celles-ci témoignent d'une position plus aval, centrale et horizontale, du niveau de base de l'époque vers où les eaux de ruissellement chargées de sédiments convergeaient et s'accumulaient du fait de l'inaptitude du seuil à évacuer rapidement ces flux (Comme c'est le cas actuellement dans le centre de la plaine); alors qu'ailleurs, sur les glacis plus excentrés, ne s'observent que des matériaux argilo-sableux de "fluage" non recouverts d'alluvions.

Nous avons donc, comme nous l'avons fait pour les plateaux sommitaux, et pour conserver la cohérence de l'ensemble, subdivisé les glacis-terrasses, suivant qu'ils sont ou non sous-tendus par des strates alluviales. Cette distinction a surtout un intérêt paléogéographique puisqu'elle peut renseigner sur la localisation de la nappe lacustre de cette époque du quaternaire. Il n'y a pas de différence vraiment significative de sols sur l'un ou l'autre des 2 matériaux, qui ne diffèrent entre eux que par une redistribution granulométrique.

II. 2. 1. LES GLACIS-TERRASSES SANS MATERIAU STRATIFIE ALLUVIAL (UNITE 18).

Ces lambeaux de glacis-terrasses ont des tailles modestes comparés à ceux du Sud-Ouest de la région. On les trouve autour de la cuvette en 2 situations privilégiées: *d'une part à l'Ouest-Nord Ouest*, entre Amparafaravola et Ambohijanahary, à l'état de buttes hautes de moins de 10 mètres (parfois, en aval, seulement quelques mètres) au-dessus des plaines et vallées actuelles et fonctionnelles; *d'autre part au Nord-Est et à l'Est*, entre Vohimenakely et Ambohitsiloazana (station agricole) aussi bien en simples buttes qu'en ensembles assez importants, inclinés vers la cuvette proprement dite, mais aussi vers les centres des gouttières importantes, que celles-ci rejoignent (gouttière "Kelivava-Lovoka") ou non (région d'Antokazo par exemple) la cuvette de l'Alaotra. Les parties Nord et Sud-Est de la région ne montrent pas de lambeaux de ces surfaces; celles-ci, si elles y ont existé, ont été éliminées par l'érosion active qui règne dans ces zones.

L'absence de strates alluviales sous ces lambeaux, signale que l'on n'était pas dans la partie basse, alluvionnaire de la plaine d'origine. Le "centre" était situé beaucoup plus au Sud, contrairement à la situation actuelle où le lac occupe la partie Nord de la cuvette.

Les matériaux qui sous-tendent ces glacis-terrasses rappellent fortement ceux des plateaux (voir ci-dessus), mais parfois avec des différences plus ou moins nettes de coloration et d'épaisseurs relatives; on observe ainsi, du haut vers le bas les différenciations suivantes:

- . *la partie supérieure*: son épaisseur est de l'ordre de 1 à 3 mètres, sa couleur est jaunâtre (tendant vers le gris au sommet et parfois tachetée de rouille à la base. Il n'y a pas de cailloux, seulement des sables et graviers quartzeux. Le matériau, argilo-sableux est homogène, compact.

- . *la "stone line" quartzeuse*, discontinue ou facultative, souligne la limite de recouvrement de la plinthite par le matériau jaune supérieur "remanié".

- . *la zone tachetée (plinthite)* concerne les altérites en place; son épaisseur est de 1 à 3 mètres. Il s'agit d'une ancienne zone de fluctuation d'une nappe phréatique.

- . *la roche pourrie* rosâtre, non remaniée. Les minéraux primaires ne sont pas complètement altérés et révèlent la structure de la roche. Cette roche pourrie peut être extrêmement épaisse (plus de 30 mètres); aucun noyau dur de roche saine ne s'y maintient.

Comme sur les plateaux sommitaux, ces sols jaunes (puisque ils doivent être classés !) ne peuvent être casés que dans les "*ferrallitiques fortement désaturés*." Ils présentent les mêmes caractéristiques physiques que les sols des plateaux. Leurs qualités sont donc très médiocres (acidité, extrême pauvreté chimique, richesse en "pseudo-sables", faible stabilité structurale, faible capacité de rétention en eau...). Cependant, par rapport aux plateaux sommitaux, ces glacis-terrasses présentent l'avantage (lorsqu'ils sont assez étendus) d'être peu éloignés des niveaux de base et ainsi d'être faciles d'accès pour les hommes et les machines agricoles. Entre Vohimenakely et Ambatosorotra, ils peuvent être associés aux sols rouges des versants peu pentus sur roches basiques situés en amont et aux terrasses à sols jaune situées en aval, pour former des blocs compacts de grandes superficies; de sorte que cette continuité est un facteur de valorisation de ces sols qui en eux-mêmes sont très peu fertiles ; ils demandent de gros apports de calcaire, de fumier, des techniques culturales pas trop lourdes, des systèmes de cultures faisant une place aux cultures fourragères ou aux jachères à légumineuses (amélioration de la structure).

II. 2. 2. LES GLACIS-TERRASSES A MATERIAU STRATIFIE ALLUVIAL (UNITE 19)

De vastes langues bien planes de glacis-terrasses s'observent au Sud-Ouest de la cuvette, les principaux ensembles sont ainsi situés : Nord d'Andilanomby, Nord de Manakambahiny, Sud de Vohidiala, région d'Andilanatoby, Ouest de Bejofo, Est de Morarano-chrome, "presqu'île" d'Ambongalova.

Ces glacis-terrasses sont inclinés (jusqu'à 3 % en amont, moins de 1 % en aval, et convergent vers la cuvette centrale et plus spécialement vers ce qui est actuellement l'ensemble aménagé formé par le PC.23 et la SORIFEMA. L'absence de terrasse à sédiments "fluvio-lacustro-deltaïques", ailleurs qu'autour du cône actuel de la Sahabe, nous fait penser qu'un des "centres de gravité" de la paléo-cuvette de l'Alaotra, vers lequel convergeaient les eaux de ruissellement et les sédiments et où se trouvait la nappe lacustre, était situé à cet endroit, donc diamétralement opposé au lac actuel par rapport au grand axe de la cuvette. Partout ailleurs, en effet là où l'érosion postérieure ne les a pas éliminés, les glacis-terrasses conservés en périphérie de la cuvette ne montrent pas d'alluvions. Cela ne signifie pas, bien entendu, que ces glacis d'origine dont les témoins amont ne sont pas couverts d'alluvions et qui se poursuivaient vers l'aval (avant d'être éliminés, depuis, par fluage régressif) ne passaient pas progressivement à des terrasses fluvio-lacustres, comme on l'observe au Sud-Ouest. Cependant un problème d'ordre altitudinal se pose : au Sud Ouest l'altitude maxima des alluvions fluvio-lacustres des glacis-terrasses est de 800 mètres ; ces mêmes glacis-terrasses se poursuivent en amont, mais les alluvions stratifiées n'y sont plus. On peut donc considérer que dans ce "golfe" actuel l'altitude de la nappe lacustre ou plutôt de son plancher alluvial était 800 mètres. Or, ailleurs, c'est à dire à l'extérieur de ce "golfe-cul de sac" (ouvert sur le reste de la cuvette au niveau d'une ligne joignant les "presqu'îles" de Voditany au Nord et d'Antanjona au Sud), les glacis-terrasses résiduels, sans alluvions

sont situés à des altitudes toujours inférieures à 800 mètres et descendent jusqu'à 760 mètres. On ne voit pas comment *sous une même nappe lacustre*, aurait pu se déposer des alluvions à 800 mètres d'altitude (donc sous une lame d'eau d'altitude supérieure), et ne pas s'en déposer du tout à une altitude inférieure à 800 mètres ; la présence de glacis-terrasses non alluviaux en-dessous de 800 mètres est incompatible avec la présence contiguë de terrasses lacustres ayant cette altitude, si on postule, ce que nous croyons, que ces niveaux sont contemporains. Nous en concluons que le lac de l'énoque (que nous appelleront 'paléo-lac de la Sahabe') était limité au coin Sud-Ouest actuel et qu'il était fermé à l'Est par une ligne de reliefs granitiques dont les presqu'iles de Voditany et d'Antanjona, ainsi que les îlots centraux de Mahakary sont les reliques.

Ces reliefs se sont progressivement "ouverts", par fluage régressif des altérites, en retard sur le fluage des gneiss et migmatites environnants ; cet exutoire étroit à faible débit évacuateur était l'équivalent du seuil du Maringory actuel ..

Rien ne nous permet d'affirmer qu'à la même époque une nappe lacustre située à une altitude plus basse que 800 mètres ait existé à l'Est de cette ligne de reliefs granitiques. Les reliques actuelles des racines amont des glacis-terrasses de la surface de niveau de base, situées à 775 mètres environ (donc à une altitude plus basse que celle du niveau de base du paléo-lac de la Sahabe), ne possèdent pas d'alluvions ; peut être existait-il aussi une cuvette lacustre centrale, mais située celle-là à une altitude inférieure à celle de ce paléo-lac de la Sahabe ; celui-ci constituait un lac "perché" par rapport aux niveaux de base aval ; il s'est formé du fait de l'étroitesse de l'exutoire, dont le débit ("output") était inférieur aux débits d'arrivée ("input") des eaux et des sédiments amont. Il se passe exactement la même chose pour le lac Alaotra actuel, dont l'existence est liée à l'étroitesse de l'exutoire, lui-même conditionné par la structure lithologique du socle et son altération, donc son fluage, différentiels, décalés dans le temps et dans l'espace par rapport aux gneiss et migmatites plus altérables environnants.

Une cuvette aussi large que celle de l'Alaotra peut s'expliquer exclusivement par un évidement par *fluage préférentiel* régressif des altérites gneissiques et une évacuation en nappe boueuse par les eaux de surface vers le seuil aval, selon les processus que nous avons expliqués en détail dans les pages précédentes. *L'intervention d'une tectonique n'est pas indispensable ; la présence d'une nappe lacustre n'est pas une conséquence obligatoire* d'un tel évidement. Cette tectonique a pu avoir lieu mais sans être la condition nécessaire et suffisante de l'existence de la cuvette même si, ce qui est probable, elle l'a favorisée en permettant le déclenchement des processus moteurs fondamentaux de l'évidement. Notons, en passant, que la genèse des plaines de Tananarive a vu les mêmes processus en action que ceux du lac Alaotra, et pour cette plaine on n'évoque généralement pas la tectonique. D'ailleurs, nous l'avons déjà

évoqué, mais nous le verrons par la suite plus en détail, une partie des plaines actuelles de l'Alaotra n'ont aucune origine alluviale, mais ne résultent que du fluage régressif (centrifuge) des altérites. A l'opposé, la formation d'une nappe d'eau libre n'est, à aucun moment, conditionnée par un endoréisme (fermeture totale) de la cuvette en tant que système fermé ; il suffit simplement que le débit de l'exutoire aval soit très inférieur aux débits d'arrivée amont. D'ailleurs le lac Alaotra actuel qui ne fait que 2 à 3 mètres de profondeur est davantage une grande mare qu'un vrai lac ; si le seuil était totalement fermé, cette nappe serait bien plus épaisse. Rien n'indique que la partie orientale de la cuvette ait été à un moment donné, totalement "fermée".

Ces précisions étaient nécessaires afin de mettre fin ou de relativiser certaines idées préconçues sur la formation : de cette cuvette ; les idées fausses qui prévalent sont, *d'une part*, que l'immensité et la platitude apparente de cette plaine ne peuvent être le fait que d'un remblaiement alluvial et qu'en corollaire, l'exutoire était autrefois fermé (alors qu'il a toujours probablement été ouvert mais avec un débit variable) et *d'autre part*, que l'origine de la cuvette ne peut être que l'effondrement tectonique. Or, nous avons vu, et nous y reviendrons par la suite, que d'autres processus plus subtils et complexes entrent en jeu et expliquent de façon tout à fait satisfaisante et globalement cohérente la genèse et les caractères actuels de cette cuvette.

Cette mise au point trouve sa place ici, car les argumentations exposées et accumulées depuis le début de l'exposé forment à nos yeux un ensemble maintenant suffisamment démonstratif, pour mettre fin sans qu'aucune polémique ne soit nécessaire à toutes les idées préconçues et postulats faux sur lesquels se sont appuyées les études précédentes. Naturellement la suite de l'exposé, confortera de plus en plus nos affirmations. Nous recherchons l'explication globale cohérente, articulant l'ensemble des faits observés à leur genèse, et faisant le maximum d'économie sur les interventions extérieures nécessaires. Cette optique "structurale", cherche les mécanismes du fonctionnement interne, sans faire appel à des références étrangères au système (donc artificielles) pour "résoudre" les problèmes. La "logique dialectique interne" doit suffire. Cela n'exclut pas, bien au contraire, puisque c'est l'un des principes essentiels de la "découverte", les multiples comparaisons des faits observés ici, avec ceux des régions extérieures, qui, tous mis côte à côte, peuvent converger vers une même explication causale et nous suggérer ainsi la solution du cas spécifiquement régional.

Les matériaux de ces glacis-terrasses montrent des faciès assez comparables à ceux des strates alluviales des plateaux sommitaux (voir unité 17) : il y a une alternance de couches sub-horizontales, parfois ondulées, métriques ou pluri-métriques, à limites bien tranchées. S'observe une imbrication de couches strictement alluviales (deltaïques fluvio-lacustres) comprenant des strates argileuses (argile fine) le plus souvent "marmorisées" et des strates sableuses (sables purs à litation plus ou moins entrecroisée) et de couches argilo-sableuses de "fluage".

L'épaisseur du matériau stratifié au-dessus de la "roche pourrie" en place est comprise entre quelques mètres et une vingtaine de mètres.

Les argiles bariolées homogènes et sans grains quartzeux, montrent de grandes taches "lie-de-vin" sur un fond grisâtre, blanchâtre ou verdâtre ; elles sont généralement bien structurées (allure d'argilite). Leur marmorisation témoigne de la dynamique fluctuante d'une ancienne nappe phréatique, qui actuellement n'est plus visible, et qui est, à quelques 20 mètres de profondeur, en continuité topographique avec le niveau de base actuel de la cuvette. Les sables sont beige à jaunâtre, assez bouillants ; les argiles sableuses sont jaune à grisâtre, massives, riches en sables et graviers quartzeux, ces derniers présentent souvent un gradient positif (en taille et en densité) du haut vers le bas de la couche. Nous avons déjà indiqué que ces quartz avaient davantage pour origine la fragmentation des filons de quartz que le quartz inhérent à la composition lithologique des gneiss et migmatites.

La présence de couches argilo-sableuses de fluage intercalées entre les strates alluviales et constituant le plus souvent la partie supérieure terminale de la séquence, (voir les coupes le long de la route Vohidiala-Ambatondrazaka) ne nous pose plus de problèmes d'interprétation ; nous avons vu précédemment comment les divers processus, de mise en place et de redistribution des altérites fluées pouvaient s'imbriquer latéralement et verticalement. Les alluvions sont de plus en plus rares, au fur et à mesure que l'on remonte vers les racines des glacis. Il y a un moment, correspondant à une pente sensible (1 à 2 %) où seules s'observent les matériaux argilo-sableux jaunes. Ces deux "parties" constitutives des glacis-terrasses sont en parfaite continuité ; on passe très progressivement de la quasi-platitude de la terrasse aval à la concavité amont du glaci. Leur subdivision cartographique aurait été artificielle, peu précise et peu pertinente pour l'utilisation agricole. Dans un souci de cohérence de représentation nous avons donc englobé le tout sous la même appellation de "glacis-terrasse". En effet, dans pratiquement tous les cas, dans toutes les positions topographiques, une argile sableuse (à grains quartzeux) forme la partie supérieure des matériaux. Celle-ci comprend quelquefois, à la base, une nappe de gravats quartzeux ou "gréso-ferrugineux". Ces fragments ferrugineux proviennent du remaniement (toujours par cette même dynamique de "fluage") de la plinthite sous-jacente, dont la trame en cours d'induration a été libérée pour former des nodules et gravillons. En fait ces nappes de gravats ferrugineux et ces plinthites prises en masse s'observent rarement, essentiellement au Sud de Vohidiala. C'est un épiphénomène, localisé à quelques positions particulières de bordures supérieures de talus et de terminaisons aval de glaci-terrasse où les rabattements de nappes ont été rapides, permettant une sesqui-oxydation et une induration du fer au sein des taches de l'argile sableuse (plinthite indurée).

Les sols des glaciis-terrasses à strates alluviales sont identiques aux sols précédents, puisqu'ils affectent le matériau argilo-sableux supérieur, qui est pratiquement le même partout. Il s'agit de "sols ferrallitiques jaunes fortement désaturés". Leurs propriétés physiques sont assez médiocres : leur structure est massive en profondeur, fragile en surface (consistance poudreuse suite aux fréquents labours antérieurs). La texture est généralement limono-sableuse à sableuse du fait de la présence de pseudo-sables. La granulométrie (sans destruction des pseudo-sables) présente la répartition suivante : 5 à 10 % d'argile, 20 % de limon, 30 % de sable fin, 40 à 45 % de sables grossiers. Localement, comme sur la presqu'île d'Ambongalova, (SOMALAC), les sols sont un peu plus argileux, mieux structurés ; ces zones moins sableuses coïncident avec l'absence de matériau de "fluage" au-dessus de strates alluviales plus argileuses. La capacité de rétention en eau utile est faible, de l'ordre de 2 à 5 %. Les propriétés chimiques ne sont pas meilleures : le pH est aux alentours de 5, la capacité d'échange est inférieure à 3 mé % ; la somme des bases échangeables inférieures à 1 mé %. La teneur en phosphore assimilable (méthode OLSEN) est faible (moins de 30 ppm).

Les grandes superficies facilement accessible de cette unité de milieu est un facteur très favorable à leur utilisation en agriculture pluviale mécanisée. D'ailleurs une grande partie de ces sols est ou a été cultivée dans le passé, à grande échelle et souvent en mécanisation lourde (maïs, manioc), de sorte que leur état de "dégradation" est assez avancé (structure "soufflée", semelle de labour, compaction du niveau 25/35 cm, baisse du stock organique, acidification...).

Leur mise ou remise en culture devra mettre en oeuvre des techniques de régénération et conservation de la fertilité du sol, devant viser à *refaire une structure favorable, à remonter le stock de matière organique* (objectif 3 %), à *limiter* au maximum tout ce qui favorise le lessivage des bases, à *remonter le pH* à un niveau correct (objectif : $\text{pH} > 5,5$).

Pour cela, les techniques doivent combiner les thèmes suivants :

- 1) le travail du sol : engins à dents ou à soc préférables aux engins à disques, limitation des opérations mécaniques en particulier du passage des pulvérisateurs qui sont souvent inutiles ; choix de l'époque optimale des labours, si possible en humide ;
- 2) la pratique de la jachère de régénération si possible à bonne valeur fourragère (stylosanthes, Melinis, Paspalum...)
- 3) l'introduction dans une succession culturale et un système de production adéquats (maïs, légumineuses, fourrages)
- 4) l'apport de fumier et composts,
- 5) la réduction au minimum nécessaire de la dénudation du sol (qui favorise le lessivage),
- 6) l'apport d'amendements calcaires ou calco-magnésiens (3 tonnes/ha tous les 3 ans),
- 7) la fertilisation (surtout phosphorique).

Les techniques proprement anti-érosives, en dehors de l'amélioration de la structure par les méthodes précédentes, pourront se limiter aux précautions culturales de rigueur, travail du sol selon les courbes de niveau, petites levées ou cordons végétaux espacés de 200 mètres environ afin de couper la force du ruissellement quand le sol est peu couvert.

TROISIEME PARTIE

III - LES NIVEAUX DE BASE RECENTS

Ce sont les surfaces planes les plus proches des niveaux de bases actuels (glacis-plaines, plaines, fonds de vallée, bas-fonds) par rapport auxquels les dénivelées sont les moindres. Bien que possédant un certain degré d'hydromorphie en profondeur, résultant du battement de nappes phréatiques, les sols de ces unités de milieu ne sont jamais recouverts d'une nappe d'eau superficielle stagnante.

A l'intérieur de cet ensemble nous avons fait 3 subdivisions :

III. 1. LES TERRASSES A SOLS ARGILO-SABLEUX "GRIS/JAUNE" SPECIFIQUES A LA ZONE PROCHE DE L'EXUTOIRE DU MANINGORY (UNITE 20)

Ces "terrasses jaunes", très bien conservées et d'une quasi-parfaite horizontalité, ont un grand développement de part et d'autre (au Sud et au Nord) de la "vallée-exutoire" du Maningory, au Nord Est de la cuvette. Elles jalonnent en particulier les "gouttières" du système hydrographique de l'Andranofotsy et de l'Ampandriambe affluents de rive gauche du Maningory ainsi que celles du système de la Kelivava, de la Lovoka et de la Vilanivato affluents de rive droite.

A ces endroits, les "terrasses jaunes" sont en position géomorphologique intermédiaire entre les glacis-terrasses de niveau de base ancien, dominantes de 15 à 20 mètres (unité 18) et les "glacis-plaines" de niveau de base actuel dominés de 5 mètres environ (unité 25).

Ces générations de niveaux étagés particulièrement nets à cet endroit privilégié (nous verrons pourquoi), jalonnent des vallées allongées Nord-Sud. L'évidement de ces gouttières, la largeur et la direction de celles-ci, ne sont pas les faits du hasard, là encore une telle physiographie est le résultat d'un "surcreusement différentiel" exploitant la disposition litho-structurale du socle cristallin métamorphique. A cet endroit, on a une alternance de roches amphibolitiques (à sols rouges, voir unités 11 et 12) et de roches gneissiques, toutes deux à pendages redressés et disposées en bandes sub-parallèles NNW-SSE. L'altération des roches et l'évolution des versants n'ont pas été identiques sur ces 2 ensembles lithologiques ; c'est la présence ou l'absence de nappe phréatiques d'altérites qui a conditionné l'épaisseur de cette altération et sa dynamique de fluage. Les nappes phréatiques sont absentes dans les altérations argileuses, sans quartz, sur amphibolites, par contre elles

sont présentes au sein des altérations riches en sables quartzeux, des gneiss. D'autre part les amphibolites sont armées de barres quartzitiques, ce n'est pas le cas des gneiss intercalés. La conséquence de cette structure géologique est que la "roche pourrie" gneissique (gorgée d'eau) est plus épaisse que la "roches pourrie" amphibolitique. Il s'en suit que les flux d'eau phréatique, drainés par les abaissements successifs du seuil du Maningory ont provoqué des "fluages" et des évacuations préférentiels des altérations argilo-sableuses gneissiques, selon les mécanismes expliqués précédemment (voir unités 16 à 19), aboutissant peu à peu à surcreuser et évider les bandes plus "tendres" pour laisser en relief les bandes plus résistantes, pour lesquelles l'altération et l'érosion, à modalités différentes, étaient globalement moins rapides.

Les 3 fluages successifs d'altérites sableuses sur gneiss ont donné naissance à 3 générations de "surfaces planes", emboîtées les unes dans les autres, correspondant chacune à 3 niveaux de base stabilisés successifs (niveaux de base ancien, récent et actuel) ; ceux-ci étaient commandés par l'ouverture du seuil du Maningory proche, dont la stabilité comme les "à coups" dans la vitesse de creusement et les débits d'évacuation, étaient eux-mêmes directement liés à la traversée de roches dures (niveaux de base relativement stables en amont) et de roches plus tendres (creusement rapide et "crise" en amont, avec fluage et déblaiement "regressifs" du niveau de base précédent).

Pourquoi ces surfaces planes sont-elles particulièrement visibles et bien conservées à proximité du seuil de la cuvette ? Nous pensons que la raison en est la suivante : la disposition litho-structurale favorable du socle et la proximité du seuil ont fait que les "déblocages" successifs de ce dernier, que les rabattements corrélatifs des nappes induisant les fluages successifs des altérites, ont été particulièrement bien enregistrés à cet endroit privilégié. Autrement dit, en terme de cybernétique, on pourrait dire que la "transmission de l'information codée" (ici les enchaînements et la propagation vers l'amont de processus n'ayant rien de commun avec le creusement de barres rocheuses mais pourtant commandés par lui) s'est faite avec d'autant moins de pertes et d'autant moins d'amortissements (en particulier concernant les rabattements, les flux latéraux des nappes et leurs effets mécaniques sur les altérites) que le site était moins éloigné de la "source" émettrice et déclenchante, en l'occurrence le seuil du Maningory. Pour que les terrasses se développent puis se maintiennent intactes jusqu'à nous, encore fallait-il, *d'une part* que la géologie se prête à cet enregistrement des épisodes de stabilité et *d'autre part* que la tectonique ou autre agent extérieur source d'érosion accélérée susceptible d'effacer le tout, respecte ces héritages. Ces deux conditions ont été réunies de part et d'autre du seuil, région qui constitue donc, de ce fait, un des "sites-clé" pour la compréhension et la reconstitution de l'évolution géomorphologique de la cuvette de l'Alaotra toute entière. Remarquons qu'en retour, ces considérations géomorpho-pédologiques renseignent par voie indirecte, mais avec précision, sur la structure et la lithologie du socle. Les cartes géologiques de la région, localement inexactes et parfois même aberrantes, témoignent de la méconnaissance, d'une mauvaise

interprétation ou d'une absence de considération par leurs auteurs d'autres faits pertinents existants hors de leur discipline. C'est une autre preuve que les "disciplines", établies au départ par commodité conceptuelle pour l'étude du milieu physique, sont artificielles, et que ces coupures, loin de faciliter la connaissance, emmrisonnent les spécialistes, parfois malgré eux, et s'opposent à la bonne articulation des faits observés, nécessaire à la compréhension globale du paysage.

La mise en place des matériaux situés sous les "terrasses jaunes" de la région du seuil du Maningory ne doit rien à une origine alluviale. Génétiquement, comme nous l'avons déjà mentionné, ce sont des "nappes de fluage", dont l'agent mobilisateur et évacuateur est la nappe phréatique noyant la roche pourrie des terrasses et collines supérieures, mécanismes commandés par le drainage de cette nappe lié au creusement linéaire du seuil. La perfection de cet aplanissement est liée, comme nous l'avons dit, outre aux caractères géologiques favorables, surtout à la proximité du seuil qui est responsable des particulières efficience et "pureté" des processus mis en jeu. L'absence d'alluvions indique que l'évacuation des matériaux flués issus de la "fonte" des modelés (terrasses antérieures et collines), à l'intérieur de ces gouttières (non directement branchées sur la cuvette de l'Alaotra) se faisait régulièrement, sans goulot d'étranglement et "bouchon" aval au niveau du seuil. La relative faible superficie des "bassins de drainage" (indépendants du bassin de la cuvette de l'Alaotra) était compatible avec les possibilités évacuatrices du seuil. Ce n'était pas le cas pour l'ensemble du bassin de drainage de la cuvette : lors des "crises" de fluage et d'évidement, le seuil n'a pas toujours pu "assumer" les conséquences des processus dont "il" était lui-même responsable (creusement et traversée de barres rocheuses) ; les débits d'arrivée ont été supérieurs aux débits de sortie.

Les caractères des matériaux, ainsi mis en place, sont les suivants :

. *la partie supérieure* de 1 à 2 mètres d'épaisseur, est de couleur gris-jaunâtre (en surface) à jaune-olive (en dessous). Une certaine marmorisation (superposition de marbrures rouges) apparaît fréquemment en dessous de 1 mètre. Ce matériau est argilo-sableux, riche en sables et grains quartzeux. C'est le matériau de "fluage" proprement dit, donc remanié par un transit latéral à l'état "semi-fluide" (?) mais sur une distance réduite, insuffisante pour qu'un tri granulométrique s'y opère et pour qu'il passe ainsi à des alluvions.

. *la partie inférieure*, en dessous de 1 à 2 mètres de profondeur, est constituée par de la "roche pourrie" gneissique en place, sur laquelle a "coulissé" le matériau de fluage supérieur qui était, lors de sa genèse et de son transit, dans un état mécanique plus "fluide". La zone d'altération montre des teintes rosâtre, la persistance de minéraux primaires altérés ayant conservé leur formes et dispositions structurales. Au sommet (donc sous le matériau flué) se superpose une marmorisation, qui s'accompagne d'une meilleure "argilification" (kaolinite), aboutissant à un faciès de

plinthite ("argile ferrugino-kaolinique tachetée"). Cette marmorisation affecte donc indifféremment les 2 matériaux ; elle est le résultat (et en même temps le "signe") de la fluctuation verticale de la frange supérieure d'une nappe phréatique dont le niveau statique est situé à 5 à 10 mètres de profondeur sous la surface topographique. Cette plinthite est encore "fonctionnelle" c'est à dire que, contrairement aux plinthites situées sous les surfaces plus anciennes et perchées plus haut, et qui elles sont alors des héritages de processus inactuels, elle est encore en formation, et imbibée en saison des pluies par la nappe, qui redescend en saison sèche.

L'action mécanique et physico-géo-chimique de cette nappe se manifeste à l'heure actuelle par des processus de "suffosion" (affaissements), "lavages" et "fluages" lents des bordures de la "terrasse jaune", en contre-bas de laquelle s'emboîte (en se formant à ses dévénements) les "glacis-plaines" du niveau de base actuel (unité 25). Ceux-ci constituent la "nouvelle génération" au sein de cette filiation étagée de matériaux et de modelés dont chacun utilise et "digère" les matières premières des précédents ; à chaque fois que les altérites sont "reprises" par cette dynamique, il y a des "pertes" par lavage qui appauvrissent les sols. Les plus récents sont donc souvent les plus pauvres et acides.

Les sols ont les caractères suivants :

. *en surface, sur 30 à 40 cm la couleur est grisâtre à gris-jaunâtre. La texture est sablo-limoneuse (moins de 8 % d'argile), riche en sables quartzeux. La structure est massive (il y a une prise en masse). Le pH est de l'ordre de 5. La capacité d'échange est inférieure à 5 mé % ; la somme des bases est inférieure à 1 mé %. La capacité de rétention en "eau utile" est comprise entre 2 et 4 %.*

. *entre 40 et 100 cm de profondeur, après transition graduelle, la couleur est jaune-olive, la texture est limono-sableuse à limono-argilo-sableuse (8 à 15 % d'argile) ; la consistance est compacte, la structure est massive, ("prise en masse"). , la porosité est faible ; on y voit souvent des concrétions rondes noires ferro-manganiques ("plombs de chasse").*

. *entre 100 et 150/200 cm de profondeur, après une transition graduelle, la texture est limono-argilo-sableuse ; au fond jaune-olive se superposent des taches rouges ; les "plombs de chasses" sont assez abondants. La structure est massive à peu développée.*

. *vers 150/200 cm se trouve souvent une nappe de gravats ("stone line") composée de cailloux quartzeux et de concrétions noires.*

. *à partir de 150 à 200 cm, l'altération en place, d'abord tachetée argileuse et structurée, passe en profondeur à une couleur d'ensemble rose.*

Ces sols ont des propriétés médiocres : les caractères physiques sont défavorables : texture sableuse, compacité, faible stabilité structurale, engorgement temporaire jusqu'à partir de 1 mètre de profondeur ; la remontée de la nappe phréatique freine l'infiltration des eaux pluviales, qui ont tendance à se maintenir dans la partie supérieure, avec écoulements hypodermiques, ceux-ci "lavant" le sol ; cette dynamique latérale s'oppose au maintien des éléments fertilisants dans le sol. Par rapport aux "sols jaunes" non hydromorphes des glacis-terrasses et plateaux, plus hauts perchés, ces sols sont donc nettement dépréciés. Leur avantage réside dans leur situation géographique, leur accès facile, leur quasi-parfaite horizontalité et leur vaste extension en blocs "compacts" très favorables à l'agriculture mécanisée. Actuellement ces sols ne sont pratiquement plus cultivés.

Les recommandations pour la remise en valeur de ces sols sont les mêmes que celles qui ont été proposées concernant les sols des glacis-terrasses précédents (voir unité 18 et 19).

III. 2. LES GLACIS-TERRASSES ET BAS-FONDS NON "FONCTIONNELS" A SOLS ARGILO-SABLEUX GRIS OU JAUNE (UNITE 21)

Cette unité de milieu représente peu de chose, spatialement. Elle a cependant (comme toutes les autres unités), structuralement et génétiquement, sa place significative et un rôle d'articulation dans l'organisation du "système-paysage" global.

Il s'agit le plus souvent d'une "unité-raccord" joignant la base des versants convexes ("demi-oranges" et autres), aux niveaux de base actuels (bas-fonds et glacis-plaines). Ce raccordement a la forme d'un petit "glacis-terrasse" (de moins de 500 mètres de large en général), dont la concavité amont forme une ligne d'inflexion avec la convexité basale accentuée du versant dominant. A ces glacis-terrasses, présents de façon assez systématique dans le Sud-Ouest, se rattachent génétiquement certains bas-fonds qui ne sont plus fonctionnels actuellement et qui caractérisent les vallons "secs" des reliefs orientés NNW-SSE, armés par des barres granitiques (unité 8).

Un cas d'extension particulièrement développée de ce "glacis-terrasse" est situé au Sud et à l'Ouest d'Ambohijanahary, de part et d'autre du débouché de la Sahamaloto. A cet endroit, la terrasse, perchée moins de 2 mètres au-dessus du niveau de base actuel (glacis-plaine, unités 25 et 26), est criblée de petites cuvettes inondables sub-circulaires, de moins de 50 mètres de diamètre, enfoncées d'environ 1 mètre. Ces cuvettes sont des "formes de suffosion" c'est à dire qu'elles résultent d'un "soutirage-lavage" en profondeur (vers 1 mètre) du matériau argilo-sableux, par la circulation latérale de la nappe phréatique. Cette perte de matière "dissoute" ou en solution colloïdale (argile, fer),

véhiculée par ces flux souterrains, conduit à des affaissements circulaires donnant naissance à des cuvettes dont les fonds concordent alors avec le niveau de base actuel, au même titre que les glacis-plaines voisins situés un peu plus en aval (unités 25 et 26) ; d'ailleurs ces derniers se forment en partie par *suffosion régressive* et en partie par *fluage* de la terrasse "sèche" située 1 à 2 mètres plus haut ; la limite entre ces 2 niveaux est très sinueuse et la dénivellation parfois insensible, surtout que l'ensemble a subi un nivellement par l'aménagement des rizières qui a assez homogénéisé l'état de surface.

Cette unité 21 représente donc les reliques d'un niveau de base récent qui ne sont plus "mouillées" en surface par la remontée de la nappe phréatique, celles-ci étant à l'heure actuelle descendue par rapport à son niveau d'origine.

Ces glacis-terrasses et bas-fonds anciens sont contemporains des terrasses à "sables blancs lavés" (voir ci-dessous unité 22) et des "terrasses jaunes" proches de l'exutoire du Maningory (voir ci-dessus, unité 20). Les conditions locales particulières relatives aux modes de rabattement des nappes phréatiques conduisant suivant les endroits à des modalités différentes de *fluage* et de *lavage* des matériaux impliqués dans ces dynamiques, ont orienté telle ou telle occurrence actuelle de modelé et de sol pour cette même "génération" de niveaux de base récents.

Le matériau (non alluvial ni colluvial aux sens habituels des termes) et les sols de cette unité de milieu ont les caractères suivants : Dans la partie supérieure, sur environ 2 mètres d'épaisseur, se trouve la "couche de fluage", issue de "l'étalement" et du remaniement sur une faible distance d'altérites gneissiques argilo-sableuses résultant de la fonte de versants convexes, puis de processus de "lavage-colmatage" et d'hydromorphie, par les circulations latérales et les fluctuations de la nappe phréatique. En profondeur, on passe à l'altération (sur gneiss et migmatites) en place, non remaniée.

Les sols sont des *sols hydromorphes* ; cette hydromorphie est due à la remontée du plan phréatique en saison des pluies, jusque vers 50 cm de la surface. Cette remontée de nappe gêne la bonne percolation des eaux de pluies qui, à leur tour, engorgent la partie supérieure du matériau. Cependant, il n'y a pas, dans cette unité de paysage, de nappe d'inondation par affleurement de nappe phréatique comme cela peut être le cas sur les niveaux de base actuels, situés un peu plus bas. Du point de vue hydromorphie, ces sols sont donc généralement plus engorgés que les sols de la terrasse jaune précédente (unité 20) ; ils présentent d'ailleurs, par rapport à ces derniers, une couleur plus terne. Mais ils se distinguent aussi des sols "lavés" de l'unité suivante (unité 22) qui leurs sont contemporains et avec lesquels ils ont pourtant une relation génétique, par le fait que chez eux, les flux hydriques

latéraux dûs aux écoulements hypodermiques d'eaux libres sont moins actifs et n'ont pas abouti au stade de "lavage" total du fer et de l'argile.

Ici les sols sont de couleur grise, de texture sablo-limoneuse, massifs et "pris en masse" dans les 80 cm supérieurs ; progressivement à partir de 80 cm de profondeur, le matériau devient limono-argilo-sableux à argilo-sableux, de couleur jaunâtre, taché de rouge, toujours très massif (structure peu développée). En profondeur, à partir de 150 cm, la texture redevient progressivement sableuse et grossière, on rentre dans la zone en cours de lavage et soutirage opérés par les flux hypodermiques des nappes.

En plus de leurs propriétés physiques défavorables, ces sols sont toujours *extrêmement pauvres chimiquement* : la somme des bases échangeables est inférieure à 0,3 mé % ; le pH est compris entre 4,5 et 5, la teneur en phosphore assimilable (OLSEN) est inférieure à 30 ppm.

Ils ne sont généralement pas rizicultivés et constituent des "zones à chiendent". L'amenée d'eau d'irrigation y est difficile du fait de leur position topographique plus haute (de 1 à 3 mètres) que les niveaux de base actuels.

Ces types de milieu, malgré leur topographie et leur accessibilité intéressantes, sont défavorables à l'agriculture strictement pluviale pour des raisons d'hydromorphie (drainage nécessaire), n'exluant pas, du fait de la texture sableuse de leurs sols qu'ils soient sujets à des dessèchements temporaires rapides en saison des pluies. Ces contraintes s'ajoutent aux mauvaises propriétés physico-chimiques. Les sols de plateaux bien drainés et de tanety modérément pentues (unités 12 à 19) leurs sont nettement préférables.

III. 3. LES TERRASSES A "SABLES BLANCS LAVES" (UNITE 22)

Les terrasses récentes à "sables blancs" sont surtout représentées sur la "rive" Ouest de la cuvette, plus spécialement entre Morarano-Chrome et Sahamamy (avec pour "pôle", Ampasikely). Sur la "rive" Est, on n'en voit des lambeaux qu'entre Marololo et Andromba.

Rappelons (voir ci-dessus) que de tels "sables blancs" s'observent aussi, à l'état discontinu (non individualisés cartographiquement), sur les plateaux et glacis-terrasses perchés à sols jaune et ocre. Ils ont les mêmes origine et genèse mais se distinguent de l'unité 22 ici présente, car ils sont liés à des formes géomorphologiques dont la position et l'âge sont différents.

Ces terrasses, hautes de 1 à quelques mètres par rapport aux bas-fonds et plaines "actuelles", sont contemporaines des terrasses à sols jaune (unité 20) et des glacis-terrasses à sols gris (unité 21). Toutes ces unités représentent les modalités d'un même palier de stabilisation d'un niveau de base récent de la cuvette de l'Alaotra. Ces modalités dépendent des conditions locales de rabattement et de mouvement des nappes phréatiques et des processus de "lavage" plus ou moins intenses qu'ils engendraient. C'est la valeur du couple "fluctuation verticale/circulation latérale" de la nappe qui détermine dans le matériau la valeur du couple morphologique "marmorisation (plinthite)/lavage." Plus la circulation latérale de la nappe est intense, c'est à dire plus ce rapport est faible, plus le fer et les argiles (dégradées ou non dans ce processus) sont éliminés au profit du squelette sablo-quartzeux résiduel, et par conséquent, plus le matériau d'origine (altérite fluée) évolue vers un "sable blanc" lavé. Dans les sols "jaune" (unité 20) on avait à faire surtout à une fluctuation verticale; dans l'unité 21 on a une situation intermédiaire : marmorisation et lavages coexistent ; dans l'unité 22 ici présente c'est le lavage qui l'emporte.

Notons cependant, toujours concernant la dynamique des nappes, que les 2 processus précédents affectent la plupart du temps le même matériau, mais à des profondeurs différentes : la nappe circule latéralement en surface et "lave" la partie supérieure (sable blanc) alors que son flux latéral est minime en profondeur où le matériau se marmorise (redistribution du fer) par alternance d'engorgement et de relative dessiccation sans qu'il y ait un départ notable de fer et d'argile. Plus en profondeur, on a le "tany manga" ("argile bleue") c'est à dire le gley gris homogène, correspondant à un engorgement permanent peu mobile donc très peu oxydant. Encore plus profondément, la roche pourrie en place, saturée d'eau mais moins argilifiée et donc à plus forte porosité intergranulaire que le matériau "flué" du dessus, permet des diffusions ioniques et prend, du fait de cette ambiance relativement moins réductrice, une couleur blanchâtre à rosâtre.

Les sols à "sables blancs" lavés, ont les caractéristiques suivantes :

. *la partie supérieure*, sur 50 à 100 cm d'épaisseur, est composée de sable quartzeux moyen (50 à 100 μ de diamètre) pratiquement pur (jamais de mica en particulier, ce qui, entre autre le distingue facilement des sables alluviaux, de teinte beige (à l'état humide) ou blanchâtre (à l'état sec). La structure est inexistante (absence d'agrégats naturels et de fissuration). A l'état sec le sol est cohérent, parfois bouillant ; à l'état humide, il est très friable. Du point de vue chimique la "fertilité" de ce sable blanc est remarquablement basse, le complexe absorbant a une capacité d'échange inférieure à 1 mé %, la somme des bases échangeables est inférieure à 0,3 mé %, le pH, très acide est compris entre 4 et 4,5.

. en *semi-profondeur* vers 80/120 cm : le matériau, tout aussi sableux est cependant de teinte brunâtre foncé à rouille vif ; *il est imprégné d'oxydes de fer*. Parfois le tout peut sensiblement s'indurer en grès ferrugineux discontinu rappelant l'*alios*.

. en *profondeur*, vers 100/200 cm, le matériau devient *progressivement* (sans limite tranchée) argilo-sableux, très compact, massif, tacheté (faciès de plinthite). La limite inférieure est nette. La base du matériau est parfois soulignée par une "stone line" quartzeuse, discontinue.

. le "*sous-sol*", à environ 200 cm de profondeur, est constitué par la "roche pourrie" en place, rosâtre à blanchâtre, plus friable (texture moins argileuse).

Cette séquence verticale "d'horizons" est le résultat (actuel ou hérité) de mouvements verticaux et latéraux de la nappe phréatique, dans un matériau argilo-sableux originairement "flué" sur 150/200 cm, coulissant sur l'altération en place non remaniée, selon les divers processus que nous avons explicités en détail dans les pages précédentes.

L'horizon sableux lavé supérieur ne semble plus actuellement être le siège de la remontée puis de la circulation latérale de la nappe. Cette dynamique était active à l'époque où ce même niveau de base était fonctionnel. Actuellement, cette nappe ne fluctue qu'au-dessous de 1 mètre de profondeur, et continue à "marbrer" le matériau. Néanmoins, le sable blanc du dessus est engorgé temporairement par les pluies dont la percolation est fortement ralentie au niveau du "plancher argileux" colmaté. Cependant cet engorgement temporaire ne permet plus la genèse de tourbe dans l'horizon supérieur, comme c'était le cas autrefois. En effet, ces sols, étaient autrefois tourbeux, comme le sont ceux des bas-fonds fonctionnels actuels, la tourbe originelle, a maintenant disparu en surface et la teneur en matière organique y est actuellement inférieure à 6 %.

Ces sols ne sont *généralement* pas cultivés et sont fréquemment boisés en Eucalyptus. Les contraintes sont dues à l'engorgement saisonnier à faible profondeur, au très faible volant hydrique (stress à craindre, même en saison des pluies), à l'extrême pauvreté chimique, à la faible capacité de rétention pour les engrais, aux risques de toxicité aluminique (pH inférieur à 4,5). Leur aptitude est donc très faible aussi bien pour les cultures strictement "pluviales" que pour le riz : difficile maintien du plan d'eau (infiltration), irrigation difficile (position perchée des terrasses); en saison sèche la nappe descend trop profondément pour pouvoir alimenter la surface par capillarité ; l'aptitude pour les cultures de contre saison est donc nulle.

QUATRIEME PARTIE

IV - LES NIVEAUX DE BASE ACTUELS

Nous appelons "niveaux de base actuels" (par rapport aux niveaux de base anciens et récents) les parties aval ou terminales des bassins, vers lesquelles convergent les eaux libres, *superficielles ou internes aux altérations* (nappes) en même temps qu'elles perdent leur "compétence" c'est à dire leur capacité d'incision, de transport des matériaux, ou d'action mécanique interne sur ces altérations; les niveaux de base sont donc les plaines et les fonds de vallées qui, d'une manière ou d'une autre, sont le siège, *soit d'une submersion* temporaire ou de longue durée, épaisse, peu épaisse ou sub-affleurante, stagnante ou à circulation latérale plus ou moins turbulente, *soit d'écoulements en nappe généralisés* pendant certaines périodes de la saison des pluies. Ces déplacements d'eaux libres conditionnent les mouvements et redistributions des particules solides transportées. Ces transferts de matière se font, nous le verrons, avec des modalités fort diverses.

Les niveaux de base se réfèrent à la fois aux *eaux de surface* (ruissellements) et aux *nappes phréatiques d'altérites*. Les écoulements superficiels et les submersions peuvent donc être le fait de régimes hydrologiques différents ou de leur combinaison : *les remontées des nappes phréatiques* jusqu'au dessus de la surface topographique, *les ruissellements en nappe* circulante en provenance des versants dominants, *les débordements des cours d'eau*, *les accumulations prolongées* d'eau dans les sites à faible pente, légèrement déprimés ou en "culs-de sac", enfin les *nappes lacustres* terminales permanentes. Une submersion peut avoir pour origine à la fois la remontée d'une nappe phréatique et les arrivées d'eau de ruissellement. Il est donc parfois difficile de faire la part exacte de ces divers régimes, qui ne sont d'ailleurs pas toujours indépendants les uns des autres ; par exemple une remontée du niveau phréatique en saison des pluies, a pour conséquence à cet endroit précis d'empêcher l'infiltration des eaux pluviales directes et des eaux de ruissellement en provenance de l'amont, toutes ces eaux libres contribuant ensemble à la submersion, (et aux écoulements superficiels et hypodermiques). Seule (éventuellement) l'observation du déroulement dans le temps, à l'aide de piézomètres et d'échelles de crue par exemple, peut renseigner de façon précise sur ces différents régimes.

Les zones de décharge de sédiments, que ceux-ci soient d'origine strictement fluviatile ("baibohos" par exemple), lacustre, (lac Alaotra et marécage périphérique permanent à "zozoro"), deltaïques (cônes de la Sahabe et le l'Anony) ou enfin colluviale (glacis de piémont, débouchés de "lavaka"), qu'ils se fassent en condition turbulente (matériaux sableux) ou en condition calme (décantation argileuse), font toujours partie intégrante des niveaux de base actuels.

Par contre beaucoup de sites sans sédimentation notable font également partie des niveaux de base actuels ; en particulier, les bas-fonds tourbeux et les "glacis-plaines", qui constituent des superficies très

grandes . D'ailleurs, il nous faut insister à nouveau sur un fait très important : l'immense cuvette de l'Alaoira qui constitue le niveau de base terminal, n'est pas, contrairement aux apparences, constitué partout d'un remblaiement alluvial, dans le sens où on l'entend habituellement (accumulations de sédiments stratifiés, triés). Seule la partie centrale est alluviale. "L'anneau" périphérique bien qu'en continuité topographique parfaite avec la zone centrale, est constitué de "matériaux de fluage" de nature argilo-sableuse, non triés. Nous avons déjà évoqué leur mode de genèse à l'occasion de l'étude des niveaux de base perchés (unités 16 à 22) et nous y reviendrons. Ce qui contribue à la confusion entre matériau "flué" non trié et sédiments proprement dits, bien lités et triés, est que, dans la zone de transition ils peuvent s'imbriquer latéralement, *mais aussi verticalement* (donc "s'interstratifiant").

Il est très intéressant, dans la région du lac Alaoira, de comparer ce qui se passe actuellement dans les plaines et glacis terminaux, avec ce qu'on observe sur les surfaces perchées, reliques de niveaux de base anciens. Les processus de genèse dans les 2 cas, sont probablement les mêmes (ce sont des invariants structuraux majeurs); il est probable que les niveaux de base actuels formeront un jour, à leur tour, avec l'évolution naturelle du drainage de la cuvette (creusement du seuil), des plateaux ou glacis perchés semblables. La comparaison des uns et des autres où les conditions d'observations sont différentes (coupes verticales profondes accessibles et visibles sous les plateaux, processus actuels de surface dans les plaines), éclaire de façon inespérée et passionnante la *genèse, la diachronie* (évolution dans le temps) et la *synchronie* (structure et modalités actuelles) *des surfaces d'aplanissement* (voir précédemment), non seulement autour de la cuvette, mais par extrapolation, induction et déduction, dans les régions intertropicales en général. Le lac Alaoira est une *région-clé* exceptionnelle pour la compréhension de tous ces processus. C'est un cas particulier qui éclaire des processus généraux. Cette région nous offre en effet un ensemble de faits particulièrement "riches" en informations ("non triviaux", au sens scientifique du terme) qui, combinés correctement, ont une forte *valeur heuristique*, à pouvoir explicatif global extrêmement cohérent pour la résolution de nombreux problèmes d'ordre géomorphologique, hydrologiques, géochimiques et pédologiques combinés qui, jusqu'à présent n'étaient pas expliqués et articulés de façon satisfaisante. Au lac Alaoira, toutes les conditions sont réunies pour dénouer et transformer en *hypothèse forte globale*, les "mystères" des surfaces d'aplanissement, de leur "plinthite" sous-jacente, des convexités des versants ("demi-oranges"), de la formation des bas-fonds, de la "stone-line", des sables blancs etc... L'hypothèse forte dégagée ici, en dehors du fait qu'elle est globale, est d'autant plus confortée qu'elle tient compte et explicite de multiples observations faites par ailleurs en région intertropicale mais où les conditions d'observations sont moins bonnes et plus dispersées.

Il va sans dire que la bonne compréhension des faits dans leur genèse, leurs articulations mutuelles et leur évolution, garantissant une bonne représentation cartographique, est source de multiples "retombées" pratiques pour la mise en valeur agricole : l'établissement de la "hiérarchie causale" des composantes du milieu physique permet d'une part d'établir le *bon diagnostic* sur les caractéristiques, les répartitions et le mode de "traitement" possible des "contraintes" agricoles, d'autre part, de déterminer les *possibilités d'utilisation optima des processus naturels*, d'apprécier l'opportunité de les "canaliser" avec plus de profit ou de réduire leurs effets néfastes (régimes hydrologique, système d'érosion, évolution des sols...).

Nous avons subdivisés les niveaux de base actuels en fonction de la nature des matériaux (matériaux de "fluage", alluvions fluviales ou fluvio-lacustre, colluvions), des sols (tourbe ou absence de tourbe, degré et nature de l'hydromorphie, granulométrie...) du régime hydrologique (durée et nature de la submersion ou des écoulements superficiels et hypodermiques), et enfin de la situation physiographique (forme, taille, encaissement, position par rapport au centre de la cuvette, des vallons, vallées, plaines et glacis). Par leurs combinaisons spécifiques ces composantes caractérisent et différencient entre elles des unités de milieu bien individualisées mais cependant liées par les lois génétiques de répartition. Les composantes du milieu sont donc fortement inter-corrélées : par exemple, un site à accumulation active de sédiments (baïboho par exemple) ne possèdera pas de tourbe. Celle-ci n'existera que dans les sites peu turbulents, peu ou très lentement alluvionnés et à nappe phréatique imbibant en permanence la surface ; les matériaux de fluage seront toujours situés en position plus amont que les alluvions fluvio-lacustres terminales, qui elles, occuperont des positions centrales.

C'est ainsi que nous avons "opéré", ou plutôt "mieux révélé", puisqu'il ne s'agit pas de distinctions artificielles et arbitraires, bien qu'elles soient parfois difficilement repérables directement par des observations de surface, le découpage suivant :

- *bas-fonds* : vallons et cul-de-sacs digités et insinués entre les reliefs convexes, en prolongation amont de la cuvette centrale, caractérisés par des fonds plats, tourbeux, à "sables blancs", à nappe constamment sub-affleurante, sans alluvionnement sensible
- *glacis-plaines à matériaux de fluage* argilo-sableux, donc non strictement alluviaux, à sols hydromorphes minéraux (non tourbeux), situés en position périphérique amont par rapport au centre de la cuvette à plaines fluvio-lacustres.
- *plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes minéraux*, donc non tourbeux, à alluvionnement lent sporadique ou absent

- plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes moyennement organiques (mais toujours pas tourbeux), à alluvionnement lent ou sporadique.
- plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes tourbeux, depuis la tourbe drainée et tassée des zones aménagées jusqu'à la tourbe flottante non drainable de la cuvette centrale, à alluvionnement.
- plaines et vallées à épandages fluviatiles ou colluviaux actuels, comprenant surtout les sols de "baibohos", non tourbeux, des grandes vallées adjacentes à la cuvette, qui déchargent leurs sédiments en recouvrant en partie les "glacis-plaines de fluage" et les "plaines fluvio-lacustres" précédentes.

Puis à leur tour ces grands ensembles seront subdivisés plus finement, en fonction de la nature des sols et des régimes hydrologiques liés à des situations géomorphologiques particulières, ou à l'"artificialisation" du milieu (drainage).

IV. 1. LES BAS-FONDS (UNITES 23 ET 24)

IV. 1. 1. LES BAS-FONDS A TOURBE SABLEUSE PEU EPAISSE SUR SABLES BLANCS "LAVÉS" (UNITE 23)

Les bas-fonds sont des formes spécifiques de drainage des régions intertropicales stables, à "aplanissement" ou à reliefs convexes "dérivés" de ces aplanissements, constitués totalement de "roche pourrie" arénacée (gneiss, migmatite, granite) comme c'est le cas de la région de l'Alaotra.

Nous donnons au mot "bas-fond" lorsqu'il caractérise ces types de milieu une définition assez précise ; nous ne l'utilisons pas dans le sens trivial et usuel de simple zone basse : il s'agit de fonds de vallons, plats, généralement très encaissés, larges de 50 à 300 mètres, sans cours d'eau important, bordés de versants très pentus et convexes, à mouillères quasi-permanentes où se forme de la tourbe. Cette tourbe repose sur du "sable blanc" qui n'est pas un matériau alluvial, mais nous le verrons, un matériau lavé par la circulation hypodermique de la nappe phréatique sub-affleurante, et qui à l'origine est issu du fluage et d'une évacuation en nappe de boue des bas de versants voisins, actuellement stabilisés. Une caractéristique essentielle du bas-fonds est que, malgré l'horizontalité de son profil transversal, il ne s'agit pas d'un fond de vallée remblayé par des sédiments ; il s'agit d'une nappe d'altérites fluées et "lavées", peu épaisse, "couissant" sur l'altération en place ; il faut insister sur ce fait car l'idée fausse de remblaiement, par ennoyage, associée à l'idée de "maturation" et de "sénilité" de la vallée sont encore obstinément véhiculées par de nombreux géomorphologues et pédologues .

Un remblaiement peu épais peut exister mais il n'exolique en aucun cas l'horizontalité du fond de vallée. Une autre caractéristique est que son régime hydrologique résulte de la *remontée de la nappe phréatique générale* qui se poursuit sous les interfluves voisins et que dans ce sens il constitue le *lieu d'émergence de cette nappe* et son *niveau de base local*. Il n'y a jamais dans un bas-fond de dynamique fluviatile et sédimentologique comme dans les vallées alluviales classiques. Les bas-fonds, autre fait significatif, s'organisent en réseaux très particuliers, qu'on qualifie de façon imagée de réseaux en "bois de rennes", "feuilles de chêne" ou "doigts de gants"; malgré la hiérarchisation marquée de ce réseau (par nombreuses dichotomies successives), on n'y observe pas, comme dans un réseau de vallées alluviales habituelle, d'augmentation régulière et progressive de la largeur des vallées, en fonction de leur position dans le réseau. Autrement dit la largeur d'un bas-fond n'a pas grand chose à voir avec le fait qu'il soit en aval ou en amont du système. En effet le "principe causal moteur" de l'élargissement de la vallée n'est pas, ici, la morphodynamique fluviatile (celle-ci n'existant pas dans les bas-fonds), mais les actions "internes" des nappes phréatiques sur les roches pourries des versants latéraux ; les bas-fonds présentent en effet des successions d'élargissements lobés et de retrécissements, dont la répartition est liée directement à la structure géologique et lithologique du socle, via l'épaisseur de son altération et la "compétence" des nappes phréatiques qu'elles contiennent sur la destabilisation et la mobilisation mécanique (fluage) de ces altérites. Lorsque la vallée traverse des roches dures moins altérées, le fluage latéral n'a pas pu avoir lieu et cette vallée est alors retrécie ; les barres rocheuses (granite généralement) souvent affleurantes dans le lit (rars endroits où on peut voir la roche saine), forment un *seuil* qui, créant un niveau de base local ralentit le transit des eaux ce qui, en rétroaction (retour en arrière dans le temps, mais ici aussi dans l'espace), déclenche en contre-coups une série de processus plus actifs que si ce seuil n'avait pas été là, remontant en amont et affectant les roches plus "tendres" (gneiss, migmatites) : altération plus poussée sous les versants latéraux par maintien des nappes "en charge" à l'arrière du seuil, destabilisation plus grande des bas de versants, fluage plus important qu'ailleurs, élargissements lobés. La forme du réseau est donc *prédéterminée* par la structure géologique (position des couches des roches métamorphiques) du socle et sa lithologie différentielle (granites, migmatite, gneiss). D'ailleurs, on constate effectivement que les bas-fonds forment très souvent des segments linéaires ; cette disposition est étroitement liée à la répartition des lames granitiques interstratifiées dans les migmatites. Les processus de fluage des bas de versants, qui commandent l'élargissement de la vallée, viennent s'arrêter ou se ralentissent fortement lorsqu'ils "buttent" contre de tels "os" où la couverture moins épaisse ne se prête plus à la continuation de processus tels qu'ils se déroulaient dans les altérites de roches gneissiques et migmatitiques. Donc la plupart du temps les "alignements" dans les réseaux de bas-fonds ne sont pas dus à des failles ou même à des diaclases du socle, malgré ce que peut faire penser un examen structural superficiel

insuffisant, mais quasi-exclusivement à des *différences lithologiques*. La forme du réseau de vallées peut donc être un "indicateur géologique" excellent, si elle est interprétée correctement, mais très dangereuse dans le cas contraire. C'est le revers de la médaille... Un autre fait qui peut induire en erreur le géologue qui ne tient pas assez compte de la dynamique des altérations, consiste à différencier une "province lithologique" par la seule observation des seuils rocheux des lits des cours d'eau. Comme ces affleurements ne se font pas au hasard mais qu'ils révèlent la structure du socle, et qu'ils sont donc des cas très particuliers, il est totalement faux de déterminer par exemple une unité de "granites" alors qu'il s'agit en réalité de gneiss simplement traversés de barres étroites de granites. De telles erreurs favorisées par l'absence d'affleurements sains, en dehors de situations particulières mal perçues par le géologue, qui est alors tenté d'extrapoler, nous semblent avoir été faites sur les cartes géologiques de la région, aussi bien en ce qui concerne le "couple granite/gneiss" que le "couple amphibolite/gneiss" (voir unités 11, 12 et 20).

Pour revenir à nos bas-fonds, une autre caractéristique étonnante de leur réseau est constituée par leurs terminaisons amont ; celles-ci montrent des élargissements en amphithéâtres tout à fait spécifiques de ces types de vallées. La largeur locale de la vallée, ses élargissements et retrécissements, son encaissement, la raideur de la convexité des versants de bordure, le "profil" de ces versants (présence ou absence de petites concavités basales), le développement de l'amphithéâtre terminal amont, sont autant de caractéristiques physiographiques relatives à l'équilibre actuel et local de la vallée en question, équilibre dynamique, qui dans chaque cas, est commandé par un antagonisme et une synergie de multiples processus en interactions et rétroactions (par voie "phréatique" au sein des altérations), dont les modalités et les combinaisons spécifiques expliquent des résultantes locales différentes. Essayons d'entrevoir schématiquement comment, en liaison avec la genèse des unités de paysages voisines (demi-oranges, reliques de surfaces d'aplanissement, plaines de niveau de base aval ...) peuvent s'envisager la genèse et la "stabilisation" apparente des bas-fonds dans leurs formes actuelles; *celles-ci ne sont* en fait que des "équilibres dynamiques, momentanément stables", résultant de boucles de rétroactions négatives par des processus antagonistes dont la *logique dialectique interne* est propre au système. En termes plus clairs nous voulons dire par là que les bas-fonds ne s'élargissent pas latéralement indéfiniment mais qu'ils tendent vers une forme stable correspondant à des antagonismes, des concurrences et des arrêts de certains processus moteurs lorsque l'état du système atteint un stade d'équilibre relatif.

Il faut tout d'abord écarter toute idée qu'il ait pu y avoir une séquence temporelle linéaire des processus en cause, les uns suivant "logiquement" (au sens cartésien) et machinalement les autres à partir d'une cause déclenchante initiale. Ce type de raisonnement

est source d'erreurs et mène à des impasses dont on ne peut sortir qu'à l'aide d'hypothèses opportunistes et artificielles qu'on est obligé de multiplier (cf l'emploi abusif de l'argument "changements climatiques" pour expliquer les surfaces d'aplanissement et autres types de modelés).

L'état "initial" de départ, qui est l'état stable antérieur du "paysage-système" est, la plupart du temps la *surface d'aplanissement* (ancien niveau de base général), sur la genèse et l'évolution postérieure de laquelle nous ne reviendrons pas (voir les explications données dans le cadre des surfaces perchées, unités 16 à 22). Cette surface est sous-tendue par des altérations profondes noyées en grande partie par une nappe phréatique. Le facteur fondamental déclenchant une "crise" dans ce système en "équilibre dynamique", est à rechercher soit directement au sein même du système en évolution, soit dans une intervention extérieure (climat devenant plus contrasté par exemple). Nous penchons pour la première solution (ce qui n'exclut pas évidemment des variations climatiques mais auxquelles nous n'accordons pas de *valeur explicative* fondamentale) ; nous ferons alors l'hypothèse suivante : l'abaissement des nappes phréatiques et l'augmentation de la "compétence" des eaux de ruissellement en cours de concentration, est causée par le creusement naturel, par à-coups, du seuil du Maningory : alternance de *creusements lents* des barres dures conférant une stabilité aux niveaux de base amont (donc au système en entier), et de *creusements rapides* d'altérites tendres avec états de crise corrélatifs en amont et mise en relief progressive des plateaux hérités de niveaux de base antérieurs. Entre le nouveau niveau de base général de la cuvette (c'est à dire l'actuel) et les "surfaces" résiduelles, la réorganisation consécutive à la crise aboutit à la formation de "demi-oranges" (et de reliefs convexes en général) "pourries" au coeur, et de *bas-fonds plats* à sables blanc tourbeux. Cette évolution conduit à un sous-système caractérisant un nouvel équilibre dynamique, auto-régulé. En même temps que les nappes phréatiques baissent et que les altérites continuent à s'approfondir, les eaux superficielles en excès, en climat humide et forestier, se concentrent et entaillent linéairement et lentement la surface plane d'origine. Il n'y a pas, dans ce type de milieu, de morphodynamique balayante par érosion en nappe sur les versants. Les altérites glissées des versants convexes sont évacuées par le réseau hydrographique linéaire ; au fur et à mesure du recul des têtes de vallée à partir de l'aval, de l'enfoncement de ces vallées qui, par érosion régressive défoncent la surface plane d'origine, les versants des interfluvés se "convexisent" en même temps que s'opèrent sur ceux-ci des reptations, décollements et glissements, réglés par la pente, des altérations. Cette dynamique est d'autant plus efficace, en volumes de terre évacuée et en "chronicité" des mouvements de masse, que la convexité s'accroît davantage ; on a ici, une boucle de rétroaction positive. Signalons en passant, que sur un matériau différent de ces profondes altérites arénacées et sous un couvert végétal différent, on aurait eu une évolution vers un tout autre type de modelé.

Cette dynamique ne se poursuit pourtant pas indéfiniment ; à un moment donné l'incision linéaire régressive, par les eaux de surface, rattrape et recoupe le plan phréatique, qui auparavant, sous les interfluves, subissait un rabattement engendré par cette même incision et suivait ainsi la topographie en cours de convexisation. La conductivité hydraulique latérale de la nappe est variable selon la nature du réservoir aquifère ; en particulier elle est plus importante dans la "zone tachetée" argilifiée supérieure que dans la roche pourrie arénacée inférieure. Or, plus les vallées se creusent, plus sur les versants de bordure, cette roche pourrie est proche de la surface ; en effet, le front d'altération (hydrolyse) et d'argilification (kaolinisation) ne peuvent suivre le rythme de l'entaille et compenser les départs par mouvements de masse, ceux-ci s'accéléralant sur les versants en même temps qu'augmente la raideur de leurs convexités. Il s'en suit que la pente hydraulique du toit de la nappe phréatique ne peut plus augmenter en même temps que la pente du versant et qu'elle doit inévitablement recouper celui-ci à un moment donné au fond du talweg. Ce stade est l'étape fondamentale de la formation du bas-fond proprement dit. A partir de là, le fond de vallée s'élargit, le matériau incisé saturé par la nappe phréatique provoque le "fluage" des bas de versants ; ceux-ci reculent latéralement et parallèlement à eux-mêmes de part et d'autre du talweg, engendrant un fond de vallée *plat* ; les matériaux flués issus du recul des versants et de la destabilisation de leurs matériaux gorgés d'eau, s'évacuent sous forme de nappe de boue, soit dans toute la section du bas-fond, soit dans des petites entailles sinueuses peu profondes. Le fond plat du vallon est donc façonné dans l'altération arénacée en place saturée d'eau, sur laquelle "coulisse" vers l'aval une "couche boueuse" argilo-sableuse. L'enfoncement du bas-fond et son encaissement se poursuivent au même rythme que la baisse du niveau phréatique. Quand la nappe est stabilisée (le niveau de base général étant lui-même stabilisé en aval) les processus inter-dépendants d'élargissement du bas-fond, de recul des versants latéraux, leur convexisation, les foirages par mouvements de masse des altérites, finissent par se ralentir et conduire à un *"état d'équilibre dynamique des formes"*, caractérisant un rapport de force entre toutes les composantes de l'environnement. Dans ce rapport de force entrent aussi en ligne de compte les résistances "passives" (inertie) des matériaux, aux processus hydrologiques et géochimiques qui les traversent alors en tant que support, et qui, n'entreront en mouvement (destabilisation gravitaire par foirage, glissement ou fluage) qu'au delà d'un certain seuil d'intensité de ces processus (état d'altération, flux hydriques latéraux...). On peut alors effectivement parler dans ce cas de "stade mûr", si on précise cependant que ce n'est qu'un palier provisoire pendant lequel se prépare, par une "cuisine" physico-chimique interne et "cachée", une nouvelle destabilisation source de futurs réajustements.

Une réactivation des processus se produira si le niveau de base général baisse à nouveau ; cette crise se répercutera en amont (après le retard que nécessite la "transmission de l'information") par une baisse de la nappe et donc du fond de vallée et par conséquent un emboîtement du nouveau bas-fond dans le premier, un appel au foirage et

au fluage latéral des versants qui se convexe encore plus, jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit trouvé. On verra alors se différencier une petite terrasse bordant le nouveau bas-fond, qui constitue l'héritage du palier antérieur de stabilisation. Cependant lorsque le bas-fond est très encaissé, sa descente et les mouvements de masse que cela provoque sur les versants, ne permettent pas la conservation des terrasses, qui sont impliquées dans cette dynamique et ainsi "déblayées".

Les processus plus strictement physico-géochimiques et pédogénétiques (et non plus mécaniques) qui, dans les bas-fonds, conduisent aux matériaux et sols observés ont pour agent essentiel, une fois encore, les nappes phréatiques ; celles-ci sont "aspirées" en flux convergents sous les interfluvés, vers les gouttières que sont les bas-fonds et qui acquièrent donc au sein du paysage-système la fonction de drainage privilégié des nappes ; c'est dans ces gouttières canalisantes que les débits des nappes sont les plus importants. C'est d'ailleurs nous l'avons vu, à la fois la cause et la dynamique du fluage préférentiel des altérites des bas de versants le long de ces sites privilégiés. Les flux importants entretenus par la pente longitudinale sensible des bas-fonds, ont pour effet d'opérer un "lavage" des altérites fluées et des arènes en place des fonds de vallée. Les argiles kaoliniques (après destruction ou non de leur réseau cristallin, le problème n'est pas résolu) et le fer sont évacués par les circulations hypodermiques de la tranche supérieure de la nappe ; ces matériaux en solution transitent latéralement à travers le squelette sablo-quartzeux, qui lui, n'est pas évacué et reste sur place. A la longue il ne reste donc que du "sable blanc" sur 50 à 150 cm d'épaisseur ; en dessous, le matériau (argile sableuse de fluage, ou roche pourrie en place) est plus argileux, et moins lavé, car la nappe est moins circulante. Au-dessus du sable blanc se forme une tourbe noire généralement peu épaisse (moins de 50 cm). Les débris organiques de la végétation hygrophile s'accumulent sur place en se décomposant très lentement, du fait de l'engorgement quasi-permanent et de l'absence de sédimentation (mis à part les cônes de déjection des lavaka).

Ces sols "tourbeux sur sable blanc" extrêmement pauvres, sont très acides (pH inférieur à 4,5), à très faible capacité d'échange (absence d'argile). Leur engorgement permanent en fait évidemment des sols inutilisables pour les cultures pluviales. Pour le riz ces sols sont difficiles à utiliser tels quels. Habituellement, sur les Hautes Terres Malgaches, les paysans les "amendent" par des apports argileux (raclage des versants voisins à l'"Angady") recouvrant la tourbe ; les mises en boue, puis en eau, régulières sur de longues années, la "rectification" du profil longitudinal et le cloisonnement par des diguettes pour le maintien de l'eau, font que, peu à peu le sol se "fait" et devient un support acceptable pour le riz "irrigué". Au lac Alaotra cette technique n'est généralement pas utilisée, les paysans se consacrant à la riziculture de plaine, beaucoup plus intéressante.

Par contre les bas-fonds, du fait de l'humidité permanente qui y règne en saison sèche, se prêtent aux cultures maraichères de contre-saison. Le blé, lui, n'y a pas sa place car il risque, sur ce type de sol, d'avoir de graves problèmes d'alimentation minérale : azote ammoniacal non assimilable, faible oxydation vers l'état nitrique (activité biologique insuffisante), pH très bas, toxicités. D'autre part ces sols (simples supports) ne gardent pas les engrais du fait d'un complexe absorbant insuffisant et d'un important flux hydrique hypodermique lessivant.

En conclusion, la mise en valeur et l'aménagement (même minimum) des bas-fonds encastrés dans les reliefs périphériques de la cuvette de l'Alaotra, ne sont absolument pas prioritaires compte tenu des immenses potentiels existants par ailleurs. Evidemment dans un autre contexte, où existerait une hiérarchisation différente des types de milieu et d'autres composantes socio-économiques, cette utilisation des bas-fonds pourrait être envisageable ou même prioritaire.

IV. 1. 2. LES BAS-FONDS A TOURBE EPAISSE SUR SABLES BLANCS "LAVÉS" (UNITE 24)

Comparés au type de milieu précédent ces "bas-fonds" sont plus larges (élargissement progressif de l'amont vers l'aval, absence d'amphithéâtre de tête), moins longs (3 kilomètres au maximum) moins encastrés (10 à 25 mètres d'encaissement par rapport à la terrasse d'interfluve), à nappe d'eau libre superficielle plus épaisse et, par voie de conséquence, à épaisseur tourbeuse également supérieure. Ils se présentent comme des "culs de sac" digités, pénétrant et défonçant les "glacis-terrasses" perchés (unité 19) découpés ainsi en lanières, situés au Sud de la cuvette (régions d'Andilanomby, de Manakambahiny, de Vohidiala et de Bejofo) ; ces gouttières s'ouvrent en aval en s'élargissant (jusqu'à 500 mètres) à l'embouchure, et sont alors en continuité topographique avec les vastes plaines de la cuvette proprement dite.

Leur mode de genèse est comparable à celui des bas-fonds précédents (voir unité 23) ; nous n'y reviendrons donc pas. La différence essentielle ici, est que la submersion est plus forte. Nous sommes très près du niveau de base général et terminal que constitue la cuvette de l'Alaotra ; de plus, par rapport aux bas-fonds précédents ceux-ci ont une pente topographique (et hydraulique pour les nappes) très faible, ce qui n'était pas le cas précédemment, et expliquait alors la faible épaisseur de la tourbe, la nappe circulant régulièrement vers l'aval. Ici, il y a stagnation d'une lame d'eau saturant un "lacs tourbeux" qui, à l'état naturel (avant aménagement et drainage) a une épaisseur supérieure à 1 mètre.

On y trouve une tourbe lâche noire, à débris végétaux peu évolués mêlés à des racines vivantes sur 1 à 4 mètre d'épaisseur. La tourbe flotte en saison des pluies, en se décollant de la surface suivant ainsi la montée du plan d'eau. La tourbe est "pure" c'est à



dire qu'elle ne contient pas de sédiments piégés, l'alluvionnement étant, dans ces culs de sac, quasiment nul, exceptés évidemment les débris organiques morts qui s'accumulent lentement au fond, après avoir traversé le lacis flottant entre 2 eaux. Sous cette tourbe se trouve un substratum sableux ou argilo-sableux ; les "sables blancs" caractérisent surtout les parties amont de ce type de bas-fond, là où la pente du toit de la nappe permet un flux latéral "lavant" suffisant. Dans les parties aval, ce flux est plus faible et tend même à être nul vers l'embouchure ; il est donc incompetent pour laver le matériau de fluage, qui reste à l'état argilo-sableux.

Ces types de milieu, sont difficiles à récupérer pour l'agriculture. Le drainage est évidemment indispensable, or celui-ci est délicat, la pente longitudinale des gouttières étant faible surtout lorsque des sédiments actuels (baibohos) bloquent leur sortie, ce qui est le cas pour certains bas-fonds situés au Nord de Manakambahiny et pour la "cuvette" d'Andilanomby (camp pénal).

Le drainage supposé fait, ce qui est en partie le cas pour la cuvette d'Andilanomby et pour certains diverticules situés à l'Ouest d'Antsangasanga (Nord de Manakambahiny), la tourbe descendra et se tassera progressivement en même temps que la surface topographique s'abaissera la rapprochant encore plus du plan phréatique qu'il ne sera alors plus possible de rabattre davantage. Dans ces conditions on n'arrivera que très lentement et difficilement à un "support" stable convenant à d'autres cultures que le riz.

IV. 2. LES GLACIS-PLAINES DE FLUAGE A SOLS HYDROMORPHES MINERAUX (UNITES 25, 26, 27)

Nous rentrons maintenant dans les vastes plaines de la cuvette centrale proprement dite de l'Alaotra.

Nous appellerons "glacis-plaines" des ensembles physiographiques majeurs de la région, constitués par les surfaces planes occupant les positions les plus excentrées de la cuvette, se raccordant aux reliefs périphériques par des concavités parfois insensibles, et se prolongeant souvent, sans rupture de pente, par des vallées pénétrant les reliefs.

Un autre critère de différenciation par rapport aux plaines plus centrales est la nature du matériau et des sols qui les constituent. Les sols ne sont jamais (et n'ont probablement jamais été) tourbeux ni très riches en matière organique. Ce sont des sols hydromorphes minéraux. Le matériau parental est argilo-sableux (argile + sable, non triés),

ne possède pas de strates strictement alluviales, excepté en aval, à la transition avec les plaines fluvio-lacustres, où on observe alors, sous l'argile sableuse non triée, des strates alluviales (sable, argile) et d'autres couches argilo-sableuses. Nous avons déjà interprété cette répartition des matériaux, en montrant que cette fameuse "argile sableuse" avait pour origine, non pas la sédimentation alluviale classique, ni le colluvionnement, mais le *fluage* des altérations des bas de versants convexes, qui, en quelque sorte, ont "fondu". Cette fonte s'est opérée par *étalement des altérites* destabilisées par la saturation phréatique, suivi par une *évacuation partielle* par des chenaux d'écoulement, puis enfin *dépôt plus en aval*, sous forme triée cette fois, et donc "transformation" en alluvions stratifiées. La dynamique de ces divers processus, leurs imbrications spatio-temporelles ont été décrites en détail dans les pages précédentes (voir surtout les unités 16 à 22), à l'occasion de la genèse des surfaces perchées. Nous y renvoyons le lecteur.

Dans la mesure où ce matériau à granulométrie typique n'est pas alluvial, où les plaines se raccordent et se relèvent légèrement en glacis concaves (et non pas avec des angles nets) aux reliefs périphériques, où les inondations et stagnations prolongées d'eau sont inexistantes et où enfin ces types de milieu ne sont pas tourbeux, cet ensemble se différencie des autres de façon très pertinente des points de vue hydrologique, pédologique et agronomique, en particulier des plaines alluviales plus centrales ; cela justifiait donc une nomenclature spécifique. C'est pourquoi nous parlons de "*glacis-plaines de fluage*". La difficulté, étant donné que "l'état de surface" n'est pas très riche en informations à cet égard, a été d'en établir la limite cartographique, avec les unités situées directement en aval, c'est à dire les "*plaines fluvio-lacustres*". Cette limite a été déterminée à l'aide de sondages-tarières, d'observations systématiques le long des tranchées des drains et irrigateurs, et à l'aide de déductions et inductions qui se sont précisées au fur et à mesure du déroulement de l'étude, en situant de mieux en mieux la signification de cet ensemble au sein du paysage global. Nous n'avons pas distingué d'unité intermédiaire entre les "*glacis-plaines de fluage*" et les "*plaines fluvio-lacustres*" ; il nous a semblé inutile de multiplier des limites imprécises, compte tenu du fait que cette "unité-tampon" n'aurait pas eu une signification très pertinente ni pour la mise en valeur agricole, ni pour la représentation cartographique, qui, du fait de cet artifice, y aurait perdu en "cohérence structurale". Ce même raisonnement sera valable nous le verrons pour l'extrémité aval imprécise des épandages de "baibohos" (unités 42 à 48), par dessus les matériaux plus anciens.

A l'intérieur de ce vaste ensemble physiographique que constituent les "*glacis-plaines*", nous avons différencié 3 sous-ensembles, de très inégale importance en étendue ; ces distinctions sont basées essentiellement sur la granulométrie des matériaux, liée évidemment à des situations géomorphologiques, et à des régimes hydriques et hydrologiques spécifiques.

IV. 2. 1. LES GLACIS-PLAINES A SOLS DE TEXTURE ARGILO-SABLEUSE (UNITE 25)

Cette unité occupe une très grande superficie en périphérie de la cuvette (sur une largeur de 1000 à 4000 mètres), spécialement sur ses auréoles occidentales et méridionales. En dehors de la cuvette proprement dite on trouve aussi ce type de matériau avec un faciès et une topographie comparables dans les grandes vallées adjacentes, lorsque celles-ci ne sont pas actuellement alluvionnées par des "baibohos".

Ces glacis-plaines présentent un profil concave extrêmement régulier mais seulement sensible à l'œil en amont, à leur raccordement avec les reliefs ; en aval le profil tend vers l'horizontalité ; la pente n'est plus apparente à l'œil nu ; elle est de l'ordre de 1,5 à 2‰ vers la fin, dans la zone de transition avec les plaines alluviales fluvio-lacustres proprement dites.

Les matériaux constitutifs du substrat des "glacis-plaines" n'ont jamais pu être observés "en place" (c'est à dire en dehors des déblais) au-delà de 2-4 mètres de profondeur, correspondant au toit de la nappe phréatique (plus ou moins rabattue par les aménagements hydro-agricoles) en saison sèche (Juillet-Août). Ces matériaux ont pu être suivis latéralement sur de longues distances, le long des tranchées des drains dans les périmètres aménagés.

Une de leurs caractéristiques essentielles est la présence systématique de sables quartzeux de tailles variables mais le plus fréquemment grossiers (200-2000 μ) dans la partie supérieure et en tout cas très grossiers à gravillonnaires (plus de 2 mm) en profondeur. Il n'y a jamais de mica ni, contrairement à ce que d'autres auteurs ont affirmé, de sable feldspathique (l'aspect blanc des grains est trompeur, il ne s'agit pas de feldspath mais de quartz "carrié"). Ces sables sont associés à une matrice fine (argile, limon), en proportions variables, l'ensemble ne montrant aucun tri granulométrique, c'est à dire que l'on n'a pas (sauf dans les zones de transition avec les alluvions fluvio-lacustres proprement dites situées en aval) d'alternances d'argile fine (non sableuse) et de sable pur (non argileux). Dans les zones de transition, de telles strates triées alluviales peuvent effectivement s'imbriquer avec des "couches" argilo-sableuses qui elles, ne sont pas triées et ne sont pas strictement alluviales. Ces passages latéraux et imbrications verticales peuvent donc compliquer l'interprétation, mais nous verrons en fait (et nous l'avons déjà vu dans les pages précédentes), que tout s'ordonne de façon parfaitement logique, les divers matériaux découlant tous de la différenciation d'une même "altérite" ("roche pourrie" migmatitique) remaniée et mobilisée de façons diverses, soit par "étalement" (fluage) latéral par des eaux de nappe phréatique, soit par reprise et transport longitudinaux par des eaux de surface, les transformant ainsi en alluvions. Le "matériau de fluage", s'il ne présente pas de strates bien tranchées ayant chacune une granulométrie homogène, montre cependant une différenciation verticale de nature "texturale" ("appréciation globale" de la proportion relative des particules constitutives). Le plus généralement on observe la séquence suivante de haut en bas :

. la partie supérieure, sur environ 1 mètre d'épaisseur, est de texture limono-argilo-sableuse : en moyenne 30% d'argile ($0-2\mu$), 12% de limon ($2-20\mu$), 58% de sable ($20-2000\mu$) dont au moins 40% de sable grossier ($200-2000\mu$). Il y a un gradient d'augmentation régulière de la richesse en sables grossiers du sommet (environ 25%) à la base (environ 60%). Ce matériau est de teinte grisâtre, compact à l'état sec ('prise en masse'), sans structure (aspect massif, sans fissuration). Il n'est pas surmonté d'un "horizon" organique (moins de 3% de matière organique), contrairement à la plupart des matériaux fluvio-lacustres avec lesquels ils sont en continuité en aval.

. entre 100 et 150 cm de profondeur environ, on observe très fréquemment un niveau encore plus sableux, et plus riche en sables grossiers (plus de 60%) et même en graviers quartzeux (plus de 2 mm de diamètre). Ces sables ne sont toutefois ni triés, ni lités (ni lits parallèles, ni lits entrecroisés), ni arrondis ; une proportion importante de ces quartz est sous forme de "grains blancs" (ayant perdu leur translucidité) anguleux, très durs (leur couleur blanche, suggérant l'aspect du feldspath, est trompeuse).

. en-dessous de 140 cm de profondeur, on retrouve un matériau argilo-sableux à limono-argilo-sableux, mais qui cette fois, est marmorisé par de larges taches rouille sur fond gris. La structure est massive, le matériau est très compact (prise en masse) à l'état sec.

Une telle différenciation texturale, ne nous semble pas signifier automatiquement une dynamique polyphasée de mise en place, pas plus qu'elle n'est révélatrice d'une origine strictement alluviale. Nous pensons, compte tenu de toutes nos observations, autant "latérales" que verticales, analytiques que synthétiques et comparatives avec les "unités" voisines, que l'on puisse interpréter de façon cohérente tous ces faits, de la façon suivante :

il faut considérer la combinaison interactive de processus divers, de nature mécanique, dont l'agent est toujours la dynamique des nappes phréatiques agissant sur, ou dans, le matériau argilo-sableux dont l'origine initiale est l'altérité en place dérivée de gneiss et migmatites, constituant des reliefs préexistants à l'intérieur desquels toute roche saine et dure a disparu, par "digestion" hydrolytique, conservant toutefois la structure de cette roche. Ces altérites ont été déstabilisées, en changeant d'état et de cohérence mécanique, au fur et à mesure de leur formation, de leur approfondissement et de la constitution du réservoir aquifère (cause et conséquence, donc boucle de rétroaction positive) qu'elles permettaient et qui ainsi, les noyaient. C'est donc par des processus internes liés à leur genèse même que ces altérites trouvent l'origine de leur propre déstabilisation, leur fragilisation, leur perte de cohérence et donc leur aptitude à être mobilisées, à s'effondrer, à *fluer*.

Le déclencheur et l'activateur fondamental d'une telle mobilisation est la baisse du niveau de base général des nappes, liée au *creusement du seuil du Maningory*. Cette baisse des nappes et leur "aspiration" latérale, en même temps qu'elles se renouvellent par les eaux pluviales (vases communicants) assure l'élimination régulière des produits d'hydrolyse et, de ce fait, entretient ou accélère la progression de l'altération donc la destabilisation mécanique et gravitaire de l'édifice. L'affaiblissement de la cohésion interne au sein des altérites est tel, qu'un certain seuil de tolérance dépassé, l'ensemble s'effondre et flue puis s'évacue latéralement au sein de la nappe phréatique qui, d'*agent destabilisateur* (affaiblissement des liaisons assurant la cohérence de l'édifice) devient également, par sa force d'entraînement latéral, un *agent mobilisateur*. Cette action mobilisatrice latérale vers l'aval sur les altérites destabilisées fait intervenir trois processus fondamentaux différents qui peuvent intervenir globalement simultanément en relation dialectique, pour s'entretenir, se catalyser ou bien se freiner mutuellement : le "fluage", le "lavage", et le "colmatage" ; le troisième processus est lié étroitement au lavage mais lui est décalé dans l'espace. Le colmatage (d'un matériau antérieurement "flué et lavé") a une action négative sur le mouvement des matériaux ; il intervient indirectement, en aval des processus précédents, pour cette fois freiner ces derniers, en reconférant au matériau antérieurement flué et lavé, une nouvelle cohérence stabilisatrice. "Lavage et colmatage" deux faces d'une même médaille, sont donc 2 mécanismes décalés dans le temps et l'espace, mais qui, globalement se recouvrent. Signalons que l'*alluvionnement* dans les plaines aval, au même titre que le "colmatage", est concomitant et génétiquement lié au "fluage" et au "lavage". Il y a un tri des particules opéré par les eaux de surface et par les eaux de lavage. Une partie des argiles issues du lavage peut se déposer en surface en aval, où la nappe hypodermique devient affleurante.

Le "fluage", dont nous avons déjà amplement parlé est plus ou moins coordonné avec le lavage, ou en tout cas présente avec ce dernier un décalage spatio-temporel plus faible que vis à vis du colmatage. Le processus de fluage mobilise latéralement vers l'aval le matériau dans son ensemble, qui est entraîné par le drainage latéral hypodermique de la nappe, *sans discrimination de classes granulométriques* ; c'est donc un "mouvement de masse" dans son sens le plus général ; le lavage par contre, s'il a également une action mobilisatrice latérale vers l'aval, celle-ci est "sélective" c'est à dire qu'elle n'affecte que la matrice fine du matériau en laissant sur place le squelette sablo-gravillonnaire quartzeux qui se concentre ainsi de façon relative.

Les "mécanismes mobilisateurs d'ensemble" impliqués dans le "fluage", ne comprenant pas de nettes ségrégations et concentrations granulométriques, se sont, d'après notre théorie, passés de la façon suivante (exposés linéairement les uns à la suite des autres uniquement par soucis de clarté et par nécessité du langage) :

1) effondrement des altérites des reliefs "pourris" sans noyau dur (avec "fonte" et recul de leurs versants, parallèlement à eux-mêmes), par gravité et perte de cohérence interne ; 2) étalement et écoulement latéral de ces altérites vers l'aval, sous la forme d'une "couche de fluage", au sein de leur nappe phréatique mobilisatrice ; 3) évacuation vers l'aval par les eaux de surface d'une grande partie de ces matériaux (où ils se redistribueront sous la forme d'alluvions) ; 4) formation d'une "nappe de coulisage" au-dessus d'un "plancher" d'altérites en place non remaniées et restées plus cohérentes car affectées par un flux phréatique hypodermique plus faible (et donc moins mobilisateur) que dans la partie supérieure du matériau.

Les "mécanismes mobilisateurs sélectifs" impliqués dans les processus de "lavage" et de "colmatage", et imbriqués avec les précédents (avec certains décalages spatio-temporaux) sont le fait des *flux différentiels (débits) latéraux des eaux de la nappe phréatique* ; ces flux sont commandés par la "pente hydraulique" (dénivellements entre l'amont et l'aval) et la transmissivité (type de porosité) latérale du matériau traversé. Sur une "toposéquence" (coïncidant avec la ligne de plus grande pente topographique) la pente hydraulique de la nappe est plus forte en amont qu'en aval ; sur une même verticale cette pente hydraulique est également plus forte au sommet qu'en profondeur. La nappe phréatique sera donc animée par des flux latéraux augmentant régulièrement de sa "racine" profonde vers son "toit" et pour une même profondeur de cette nappe à partir de la surface, l'eau libre ira d'autant moins vite latéralement (et donc perdra de sa "compétence"), que l'on sera, dans la cuvette de l'Alaotra, en position plus centrale. A cette dynamique latérale il faut ajouter les fluctuations verticales de la nappe phréatique, qui elles sont saisonnières donc non plus liées à l'espace, mais au temps (nous raisonnons ici à l'échelle humaine). La combinaison de ces 2 composantes dynamiques "latérale-spatiale" et "verticale-temporelle" montre que les flux hydriques mobilisateurs sont les plus actifs dans les parties amont des plaines, dans la partie supérieure du matériau et en saison des pluies ; les flux les moins actifs sont au contraire dans les parties aval des plaines, dans la partie inférieure du matériau et en saison sèche. Ainsi, l'analyse structurale de la combinaison de ces 3 "occurrences" (amont/aval, surface/profondeur, saison sèche/saison des pluies) rend compte de tous les cas possibles et explique fort bien l'organisation spatio-temporelle des matériaux affectés par le lavage puis le colmatage.

Enfin, fait très important, dans la résultante d'équilibre, rentrent en ligne de compte les interactions et les boucles de rétroactions (négative ou positive) auto-régulatrices entre la dynamique différentielle (sélective) de ces nappes phréatiques et la transformation des matériaux qu'elles affectent : le "lavage" latéral par élimination hypodermique vers l'aval des particules fines, en diminuant les "résistances" de friction du matériau, donc augmentant sa transmissivité, accentue la vitesse du flux hydrique, son aptitude à l'entraînement mécanique global (fluage). Fluage et lavage se neutralisent par rétroactions négatives dans un "équilibre dynamique" (auto-régulation) quand la pente topographique et la pente hydraulique sont telles que la "force vive" (compétence) de la nappe devient inférieure aux "forces de cohérence interne" du matériau, qui s'opposent au départ des particules fines comme aux mouvements d'ensemble. Nous devons enfin

tenir compte de l'intervention du troisième processus mentionné, le "colmatage" qui est le mécanisme inverse du lavage : c'est le dépôt, au sein d'un matériau d'accueil sableux antérieurement lavé, de particules fines issues du lavage de matériaux situés plus en amont et véhiculées par les flux hypodermiques de la nappe phréatique.

De tels processus (fluage et lavage amont, colmatage aval) se poursuivent, jusqu'à ce que les altérites des versants périphériques aux glacis-plaines s'arrêtent de fondre et de reculer par une dynamique centrifuge, ne pouvant plus fluer (équilibre auto-régulateur, où forces de cohérence internes centripètes et forces déstabilisatrices centrifuges se neutralisent). A ce moment, "l'équilibre hydro-morpho-pédologique" des glacis-plaines est atteint. A ce sujet, il faut insister sur une autre chose très importante : il ne faut pas s'attendre à ce que cet équilibre, qui est sous l'influence d'un facteur causal fondamental, ici *le creusement du seuil du Maningory* (commandant l'aspiration et la mise en mouvement des nappes), soit atteint partout autour de la cuvette à la même époque et avec des modalités semblables. C'est effectivement ce que l'on constate ; ces différences sont dues aux deux raisons suivantes : d'abord, les caractéristiques litho-structurales du socle sont variées et conduisent à des profondeurs et qualités d'altérations différentes donc à des réservoirs aquifères également variables, qui, par leurs dynamiques propres engendrent des "rapports de forces" spécifiques entre les processus de fluage, lavage et colmatage ; par exemple, l'aptitude au lavage dépendra en grande partie de la richesse initiale en sable de la roche et de la taille de ces sables. Ensuite, il faut considérer *l'aspect cybernétique de la chose* : le facteur causal majeur quasi ponctuel, qui est ici essentiellement la vitesse ! l'enfoncement du seuil du Maningory déclenche, lorsque ce creusement est accéléré par le déblaiement rapide d'une roche tendre, une crise en amont, avec des réactions "en chaîne" (appel latéral des nappes, déstabilisation des altérites, fluage, lavage, colmatage) qui, en remontant, mettent un certain temps, s'amortissent, ou bien évoluent dans leurs rapports de force. Autrement dit, la "transmission de l'information" et son affaiblissement par les "bruits" qui en émoussent la pureté initiale sont la source d'une hystérésis spatio-temporelle c'est à dire d'un retard des causes par rapport aux effets, retard variable suivant l'éloignement du seuil. La transmission de l'information est d'autant mieux assurée qu'elle ne rencontre pas de discontinuités (par exemple roches de dureté plus forte, peu altérables, ou à orientation perpendiculaire à la propagation centrifuge du processus). Des niveaux de base locaux, perchés au-dessus du niveau de base général de la cuvette, mais tout aussi "actuels" que cette dernière, pourront donc se former. C'est un cas fréquent dans les alvéoles et gouttières intérieures aux reliefs périphériques de la cuvette de l'Alaotra.

Les processus génétiques sont donc plus ou moins fonctionnels dans le recul actuel des plaines suivant les conditions géologiques existantes et suivant l'éloignement du seuil. Ainsi, certaines régions n'ont pas encore atteint l'équilibre auto-régulé, c'est à dire que leurs versants convexo-concaves continuent à "reculer" et à fondre, nous pensons que tel est le cas de toute la région occidentale de la cuvette, sur gneiss et migmatite sans grosse "entrave" granitique. D'autres régions ont atteint cet équilibre depuis plus ou moins longtemps ; il s'agit en particulier des régions Méridionales et Orientales de la cuvette, caractérisées par une litho-structure géologique plus complexe, alternant gouttières successives et rides résistantes entre lesquelles "butent". sans espoir de reculer davantage, les processus de fluage régressif.

La résultante la plus générale de ces processus de fluage, lavage et colmatage, converge vers la différenciation texturale observée actuellement dans le matériau : l'horizon plus sableux situé vers 100-150 cm de profondeur correspond à la circulation hypodermique la plus intense de la nappe phréatique ; dans cette couche l'argile a été éliminée latéralement. Nous pensons que, *d'une part* la fin de la mise en place par fluage c'est à dire l'étalement sur le niveau de base général, et *d'autre part* le lavage, sont deux processus qui se sont passés conjointement et qui se sont entretenus mutuellement. Les eaux qui noyaient le matériau avaient des flux différentiels à certains niveaux ; en même temps qu'elles "lavaient" l'amont, elles "colmataient" et alluvionnaient l'aval soit dans le milieu d'accueil sableux, soit en s'accumulant en strates argileuses alluviales. En effet les argiles issues du lavage ne participent pas exclusivement au colmatage ; les flux hypodermiques des nappes qui, en amont, lavent le matériau avant de transporter les particules argileuses arrachées, finissent par arriver à l'affleurement général en aval. Cette dynamique latérale de transport des argiles aboutit au redépôt hypodermique *d'une partie* de ces argiles dans le substrat sableux même (donc antérieurement lavé) ; c'est ce que nous avons appelé le colmatage ; *l'autre partie* est véhiculée encore plus en aval et affleure en même temps que la nappe dans la cuvette fluvio-lacustre où elle décante alors en milieu calme, et où elle participe à *l'alluvionnement* s'imbriquant avec des strates sableuses issues d'apports de surface plus turbulents. Ces plaines alluviales fluvio-lacustres, formant des types de milieux différents de nos "glacis-plaines de fluage", seront étudiées par la suite (unités 28 à 40). Ce que nous avons exposé ici servira à comprendre le reste, comment on passe d'un ensemble à l'autre (par quelles transitions), quelle est leur liaison génétique.

Du point de vue utilisation agronomique les caractéristiques "pertinentes" (pédologiques, hydrologiques et éventuellement "topologiques"), à mentionner sont de deux natures : *d'une part* les caractères intrinsèques à l'unité de milieu qui dissocient dans l'absolu l'ensemble des choses qu'on peut y faire de ce qu'on ne peut pas y faire, d'une façon "évidente" dirions nous (il est "évident" par exemple que ces sols hydromorphes ne sont pas aptes aux plantations de caféiers) ; *d'autre part* les caractères différenciants (comparatifs) vis à vis des autres unités et qui dans le contexte régional sont également importantes à considérer. En effet, l'aptitude agricole d'une unité, n'a rien d'absolu ; elle est toujours relativisée à l'aptitude et à répartition des autres unités. La décision, technique, financière et socio-économique, de mettre en valeur et d'aménager telle zone est prise et relativisée, après avoir évalué les potentialités des autres sites. C'est de la "comparaison" globale autant que de la "description" analytique que dépend la "valeur" agricole d'une unité de milieu dans une région donnée. Autrement dit, *l'analyse* (axe imaginaire vertical) exprime une "signification" générale peu détaillée dans un contexte d'application très large donc peu riche en informations ("mot" du dictionnaire) ; *la comparaison* (axe imaginaire horizontal) relativise, détaille, "valorise" le sens général précédent et conduit à une signification précise et "opérationnelle" dans le contexte régional présent et pas dans un autre ("analogie" avec le "mot" placé dans le contexte de la "phrase"). On voit ici l'homologie qu'il y a avec la notion de "double articulation du langage" si familière aux linguistes "structuralistes" (cf. MARTINET en particulier).

Dans cet esprit, on peut dire que les choses "importantes" à relever dans cette unité de milieu sont les suivantes :

1) *les sols ne sont pas tourbeux* ni même riches en matière organique (moins de 5%) (il semble même qu'ils ne l'aient jamais été sauf peut être dans les parties aval de l'unité, en imbrication avec les alluvions fluvio-lacustres proprement dites). Cela justifie leur appellation de "*sols hydromorphes minéraux*". L'absence d'horizon organique est liée au fait que ces sols n'ont pas été inondés par une eau stagnante ; cette inondation (avant aménagement) était saisonnière, peu profonde et "circulante".

2) les sols sont caractérisés (relativement aux sols d'origine fluvio-lacustre) par une granulométrie non homogène non triée, leur conférant sur au moins 100 cm d'épaisseur une "texture" globalement limono-argilo-sableuse à argilo-sableuse, comprenant des sables grossiers en proportion importante.

3) les sols présentent le plus fréquemment une couche sableuse "drainante" à sables grossiers de 50 cm d'épaisseur en dessous de 1 mètre de profondeur (dont l'origine est nous l'avons vu, le lavage préférentiel par la circulation hypodermique de la nappe).

4) du point de vue hydrologique les caractères morphologiques des sols, les observations des plans d'eau en saison sèche, les considérations sur la place et la fonction de cette unité de milieu dans l'ensemble du paysage, nous font supposer (avec une bonne probabilité) le régime naturel moyen (avant les aménagements) suivant : le matériau est caractérisé en saison des pluies par une remontée de nappe phréatique jusqu'en surface (nappe sub-superficielle circulante), en même temps que par l'augmentation des flux hydriques latéraux dans la "couche drainante" sableuse (entre 100 et 150 cm de profondeur). Celle-ci, après la fin des pluies, peut drainer et "écrêter" toute l'eau de la partie supérieure. La couche "supérieure", plus argileuse et plus "colmatée" (porosité intergranulaire faible) maintient "en charge" le niveau piézométrique jusqu'au moment où celui-ci baisse suffisamment (1ière moitié de saison sèche). En fin de saison sèche la nappe semble redescendre jusque à plus de 2 mètres de profondeur. Le matériau se dessèche, durcit et prend en masse au-dessus. La "capillarité" à partir de la nappe se décroche très vite de la surface. Un tel régime est évidemment variable dans le détail, en fonction de la taille des sables (en relation avec la lithologie de la roche d'où ils sont issus), du degré de colmatage supérieur, de la profondeur de la couche drainante et de la position sur le glacis-plaine (amont, centre, aval). Nulle part ces glacis-plaines ne sont restés dans leur état initial. Ils sont pratiquement partout rizicultivés. Il est donc difficile de se faire une idée exacte de leur aspect originel. Nous ne pensons pas néanmoins qu'il y ait eu de vastes marécages comme dans les plaines fluvio-lacustres proprement dites. Nous imaginons plus volontiers une savane à graminées non spécifiquement hygrophiles (sans *Cyperus* ni *Phragmites*) sauf peut être dans leurs parties aval.

Parmi les caractères non spécifiques à cette unité de milieu c'est à dire que l'on trouve de façon commune et plus ou moins invariante dans d'autres unités, mais qui sont néanmoins des caractères intervenant dans leur "aptitude" agricole il faut noter : la structure massive du sol, son absence de fissuration, sa prise en masse à l'état sec, sa faible porosité (colmatage) jusqu'à 1 mètre de profondeur, ceci étant évidemment lié aux caractères granulométriques, mais pas uniquement (des sols ayant cette texture peuvent être mieux structurés). Les caractères chimiques sont mauvais ; le pH, voisin de 5 en surface, est de l'ordre de 4,8 en dessous. La capacité d'échange est inférieure à 4 mé% ; la somme des bases échangeables est inférieure à 1 mé% en dessous de 25 cm de profondeur (avec la réserve organique sur 0 à 25 cm, en surface la somme des bases est de l'ordre de 2 mé%). La réserve en eau utile (différence entre les teneurs en eau à pF 3 et à pF 4,2) est très faible, de l'ordre de 3 %. Les réserves en phosphore assimilable (Olsen) sont évidemment très faibles (comme pratiquement partout), moins de 20 ppm.

En définitive, il faut retenir en régime hydrologique naturel, *l'absence de tourbe, l'engorgement total en saison des pluies, la dessiccation et la prise en masse en saison sèche* par descente trop rapide de la nappe et inaptitude du matériau colmaté à transmettre une ascension capillaire. L'absence de tourbe est en l'occurrence un facteur défavorable car elle permettrait, comme c'est le cas fréquent sur alluvions fluvio-lacustres (aval) la conservation d'une humidité suffisante en saison sèche (effet "mulch" réduisant l'ETP).

Dans ces conditions d'engorgement sub-superficiel *les cultures pluviales* strictes (annuelles ou pérennes) sont à déconseiller fortement. Dans le cas où le drainage a réussi à rabattre les nappes, ces cultures pluviales seraient envisageables, si ces aménagements n'avaient pas été conçus et réalisés avant tout pour la riziculture !

En saison sèche la culture du blé sans irrigation ne nous paraît pas envisageable sur ce type de milieu (en dehors naturellement de quelques sites particuliers, tourbeux et dépressionnaires par exemple, de faible superficie). Déjà en régime hydrologique naturel, l'utilisation d'une eau résiduelle ("traîne" d'une nappe descendante) ou de la remontée capillaire à partir du plan d'eau stabilisé, nous semble sans espoir, donc à plus forte raison en *conditions aménagées*. Le fait qu'on ne puisse pas semer précocement (riz "Makalioka" récolté au plus tôt le 15 mai) n'arrange pas les choses.

L'éventualité d'une remontée du niveau phréatique par fermeture des vannes du réseau (une fois que celui-ci sera remis en état), serait à tester. Cependant, compte tenu, *d'une part* du "colmatage" naturel par de l'argile, de la faible porosité du matériau supérieur et *d'autre part* de l'improbabilité du maintien effectif et suffisamment prolongé (durée du cycle cultural) en position haute de la nappe, nous sommes très peu optimistes sur la possibilité d'une remontée capillaire suffisante et donc sur l'efficacité d'une telle technique. La culture du blé avec irrigation de complément est naturellement possible, si les disponibilités en eau sont suffisantes (réserves amont ?) et si le réseau d'irrigation le permet.

En définitive, ces "glacis-plaines" à sols hydromorphes non tourbeux ne sont aptes qu'à la riziculture irriguée (éventuellement aussi pluviale). Certaines zones dans les parties amont de ces glacis-plaines ne sont pas aménagées (ni par la SOMALAC, ni par les paysans), du fait de la difficulté d'y amener l'eau (près de Feramanga, entre Sahamany et Sahamaloto...); dans ce cas, elle ne sont même pas rizicultivées et sont à l'état de pâturage à chiendent. Dans leur état actuel ces zones ne sont aptes qu'au riz pluvial.

Signalons enfin que les conclusions précédentes sur la valeur agricole de ces plaines, constituent une "moyenne" valable en position topologique médiane. En fait les contraintes pour le blé de contre-saison liées à la profondeur de la nappe, sont à minorer en aval (nappe moins profonde et sols généralement moins sableux) et à majorer en amont (nappe plus profonde et sols généralement plus sableux, compacts et massifs).

II. 2. 2. LES GLACIS-PLAINES A SOLS DE TEXTURE SABLEUSE (UNITE 26)

Sur les "glacis-plaines de fluage" les sols purement sableux dès la surface représentent peu de chose par rapport à l'ensemble, dans la région ; ils n'ont été observés sur une superficie cartographiable (donc suffisamment homogène et étendue.), qu'au Nord-Ouest de la cuvette de l'Alaotra : entre les rivières Anony et Sahamany, spécialement à l'Ouest d'Ambohijanahary et de l'axe goudronné. Ces sols sableux sont répartis alors dans les parties amont des glacis-plaines, où ils sont associés au matériaux argilo-sableux décrits précédemment (unité 25). Il s'agit d'un sous-système, différencié au sein du système plus vaste des "glacis-plaines" de fluage. Sa genèse générale (avec ses processus primaires) est la même et nous n'en reparlerons pas (voir précédemment) ; par contre, ce qui est important ici, c'est de comprendre les processus secondaires qui se surimposent aux effets des processus primaires, et dont les conséquences justifient la différenciation de l'unité.

Les caractéristiques de cette "unité de milieu", qui la distinguent de l'unité 25, sont essentiellement d'ordre granulométrique : le matériau est composé de sable moyen à grossier quartzeux (non micacé) quasiment pur, de couleur beige-grisâtre (non tacheté) sur 100 à 150 cm d'épaisseur ; il passe en profondeur (transition rapide mais sans discontinuité) à un limon-argilo-sableux ou à une argile sableuse à sables grossiers prédominants, marmorisés (plinthite) à grandes taches brun-rouge sur fond gris.

Du point de vue *modelé de détail*, on observe une certaine spécificité par rapport aux unités voisines, qui semble bien corrélée avec la nature de ce matériau sableux ; la surface topographique, au lieu d'être strictement plane, montre ici des irrégularités : chenaux et "cuvettes ouvertes" anastomosés ; formant des gouttières à peine sensibles à l'oeil (de nivellements inférieures au mètre, largeurs 10 à 50 mètres), imbriquées mais globalement orientées dans le sens

de la pente du glacis-plaine (pente de l'ordre de 2 ‰, en amont). Ces "chenaux" sub-parallèles, mais se recoupant, sont visibles sur photos aériennes, du fait de la différence de détail du régime hydrologique : les chenaux apparaissent plus "clairs" car l'eau de nappe phréatique y est affleurante (et circulante vers l'aval), alors qu'elle est sub-affleurante seulement dans les zones "hautes (moins de 1 mètre au-dessus).

Une telle "physiographie" est spécialement nette dans les axes des larges vallées qui poursuivent en continuité amont les glacis-plaines. Enfin, du point de vue *régime hydrologique*, celui-ci présente des modalités spécifiques par rapport à celui affectant les matériaux argilo-sableux (unité 25). Ce régime est en liaison étroite et indissociable avec la nature sableuse du matériau et la topographie de détail exposée précédemment : la nappe phréatique remonte jusqu'en surface, sans être gênée comme c'est le cas des sols argilo-sableux, par le colmatage supérieur qui la maintiendrait en charge. Cette nappe a une circulation latérale hypodermique (sur les 100 à 150 cm supérieurs) importante, responsable du *lavage* intense du matériau et de sa granulométrie sableuse. La convergence de flux hypodermiques préférentiels des nappes à ces endroits est commandée par des situations physiographiques favorables ; c'est le cas des axes des vallées et gouttières prolongeant en amont les glacis-plaines, dans lesquelles se ressèrent les écoulements de nappe, ce qui en conséquence augmente leurs débits locaux et favorise ainsi les processus de lavage du matériau.

D'une part, l'élimination de particules argileuses, qui laisse en place le squelette sableux, d'autre part la force vive des nappes dans leurs sous-écoulements hypodermiques, se combinent pour engendrer une action mécanique sur le matériau et lui conférer un modelé spécifique ; les zones "à lavage" (et donc soutirage) préférentiel, à filets hydriques affectés des flux les plus importants, s'ordonnent en chenaux faiblement déprimés (moins de 1 mètre) et anastomosés dont les fonds plats subissent un fluage canalisé et modéré vers l'aval, sous forme du transit lent d'une nappe sableuse gorgée d'eau.

Donc en conclusion, les caractères spécifiques de cette unité de milieu et son organisation structurale sont les résultats de processus de lavage, de soutirage (suffosion) et de fluage combinés, dont l'agent fondamental est la circulation hypodermique plus rapide qu'ailleurs de la nappe phréatique. La cause première de cette différenciation hydrologique ne peut être comprise que par la situation privilégiée de cette unité dans le paysage (axes de "gouttières", constricteurs des flux de nappes, sites à "pente hydraulique" plus importante qu'ailleurs).

Les sols résultant de cette dynamique des nappes sont des sols *hydromorphes lavés* généralement non franchement tourbeux. Les conditions d'aération malgré l'engorgement et la saturation des pores (nappe circulante) ne sont pas favorables à une accumulation épaisse de tourbe. On trouve au mieux 20 cm de "sable organique", semi tourbeux. Sans cela

ces sols ressemblent beaucoup, dans leur morphologie et leur genèse aux "sables blancs" tourbeux des bas-fonds fonctionnels (unité 23). La différence est qu'ici il y a une circulation latérale plus importante que dans les bas-fonds ; cette différence de mobilité des eaux est responsable de toutes les autres distinctions (sols peu tourbeux, chenaux de suffosion et fluage).

L'aptitude agricole de ces "sables lavés à nappe circulante" est limitée. La "qualité" du sol est très médiocre (pH inférieurs à 4,75, pas de complexe absorbant, pas de structure...), le régime hydrique est également défavorable : engorgement en saison des pluies, n'excluant pas des stress hydriques si la nappe descend (très faible réserve en eau utile), lessivage latéral des apports fertilisants : rapidement éliminés par les flux d'eau libre.

Ces conditions ne conviennent donc pas aux cultures vivrières autres que le riz. Même la riziculture inondée est délicate car *d'une part* la microtopographie est une contrainte importante au planage correct et *d'autre part*, la "nappe d'irrigation" se maintient mal, "aspirée" latéralement par les flux du sous-sol.

En saison sèche, les cultures sans irrigation sont très aléatoires. Le blé n'est pas envisageable. Seules les cultures maraichères "jardinées" peuvent trouver des sites particuliers leur convenant.

II. 2. 3. LES GLACIS-PLAINES A SOLS VERTIQUES (UNITE 27)

Cette unité de milieu, d'une superficie relativement réduite, intéresse la "rive" orientale du lac Alaotra, spécialement l'étroite bande "côtière" située entre les villages d'Ambohimanga (au Sud), et d'Ambohidavá (au Nord).

Toutes les composantes (matériau, sol, modelé, régimes hydrologique et hydrique), présentent ici des modalités spécifiques par rapport aux caractéristiques moyennes des glacis-plaines vus précédemment (unité 25) ; la résultante de ces combinaisons détermine donc une *unité différenciable du reste*, même si sa genèse "fondamentale", sur laquelle les processus spécifiques secondaires se superposent est "sous-tendue" par des processus généraux comparables (ce qui justifie qu'elle soit soumise hiérarchiquement à ce grand ensemble).

Les origines des différences observées ici sont de nature géologique (lithologie) et tectonique. Les roches sont des gneiss à minéraux ferro-magnésiens (amphiboles) donc de nature "basique", relativement pauvres en quartz (sables fins) et en micas. D'autre part les alignements remarquables bordant la frange côtière à l'Est, sont très probablement d'origine tectonique (il ne s'agit manifestement pas ici, d'alignements "structuraux" dus à la lithologie différentielle du socle qui aurait, comme ailleurs

conditionné l'arrêt du fluage). Ces accidents manifestent la dissymétrie tectonique de la cuvette (absence de cassures en dehors de la région Sud-Orientale); ils ont engendré des phénomènes d'érosion accélérés décapant les altérites jusqu'à proximité de la roche saine.

Les caractères de l'unité de milieu sont les suivants :

Le modelé est typique d'un *glacis de piémont* : la frange côtière (large de moins de 300 mètres au Nord et de 2 kilomètres au Sud) se raccorde aux versants amont suivant un profil longitudinal nettement concave et redressé atteignant 2 à 3 %. Cette pente diminue régulièrement vers l'aval jusqu'à 0,5 % en moyenne près du lac. Il semble d'ailleurs, compte tenu de cette pente encore forte, que ce glacis s'étendait beaucoup plus loin à l'intérieur de la cuvette, avant d'être ennoyé par l'eau libre du lac, repoussée par la construction du cône de l'Anony en rive opposée ; ce qui reste du glacis visible n'en représenterait que les "racines" amont. La topographie est très régulière, sans micro ou méso-relief, sans entaille importante. Ces glacis se poursuivent et s'insinuent en pointe entre les reliefs dominants. Si les vallées sont assez importantes, des alluvions actuelles de type "baiboho" viennent recouvrir en partie les glacis sous la forme de cônes d'épandage argilo-limono-micacés de teinte brune ou rose.

Le matériau est une argile sableuse "lourde", de teinte olive à gris sombre, peu poreuse et très compacte. Sa mise en place résulte du "fluage" vers le lac, à partir des versants situés au dessus de la faille bordière amont, de l'altération des gneiss à amphibole, cette altérite étant encore riche en minéraux ferro-magnésiens non digérés par l'hydrolyse. Cette altérite, "remaniée" latéralement lors de la dynamique qui a façonné le glacis de piémont constituant le niveau de base oriental du lac, a une épaisseur de 1 à 3 mètres au-dessus, soit de la roche "pourrie" arenacée en place peu épaisse, soit directement du gneiss à amphibole non altéré. Localement cette roche saine est sub-affleurante sur le glacis. Ce type de glacis peut donc être considéré comme un "*glacis de dénudation*" sous tendu par la roche saine rabotée et couverte par un "*matériau de coulissage*", résultant de la dynamique de fluage. Ce matériau, sous l'effet d'un régime hydrique contrasté, a subi une évolution géochimique avec néoformation de montmorillonite. C'est le seul endroit de la région où nous ayons observé une telle pédogenèse vertique.

Le régime hydrologique est différent de celui qui caractérise habituellement les glacis-plaines, par le fait essentiel qu'ici toute nappe phréatique pérenne a disparu ; cette régression résulte de la disparition du réservoir arenacé (roche pourrie) consécutivement à la "pédogenèse vertique" (à néoformation d'argile gonflante montmorillonitique) ayant "argilifié" totalement et pratiquement jusqu'à la roche saine l'arène initiale, fermant ainsi sa porosité d'origine. En saison

pluvieuse, le matériau se gorge d'eau, celle-ci pénètre la micro-porosité et les réseaux cristallins ; les argiles montmorillonitiques gonflent et deviennent totalement "colmatées", infranchissables aux eaux libres. L'hydromorphie est due à une saturation par de l'eau fortement retenue dans les argiles, dont une grande partie est inaccessible aux racines. Lorsqu'il y a une nappe dans l'arène inférieure (quand celle-ci subsiste), cette nappe est alors "en charge" sous le vertisol. Lorsque le matériau est totalement fermé et imperméabilisé, les eaux pluviales ruissellent en nappe en totalité. En saison sèche, les argiles se dessèchent, se fissurent et durcissent fortement ; la nappe aquifère inférieure disparaît (quand elle existait) ; il n'y a donc aucune possibilité de remontée capillaire. L'eau qui imprègne le vertisol à la base n'est pas disponible.

Le sol, hydromorphe vertique et sans horizon organique (moins de 3% de matière organique), présente une texture argilo-sableuse (50% d'argile, 30% de sable, 20% de limon). Il a une forte densité apparente, une micro-porosité très faible, une grande compacité, sa couleur est sombre, gris foncé jusqu'à 25 cm, gris-olive à taches brunes et quelques nodules ferro-manganeux entre 25 et 100 cm, puis olive-jaunâtre en dessous. A l'état sec, le sol est fissuré et présente une structure prismatique très grossière, à prismes très durs ; la fissuration est visible dès la surface. A partir de 1 mètre, on voit apparaître des faces de friction lustrées et striées, recoupant obliquement les prismes. Ces faces de friction sont des traits caractéristiques des sols vertiques ; elles témoignent des mouvements internes des argiles gonflantes au cours de l'alternance engorgement/dessiccation. Une certaine humidité résiduelle y subsiste mais le matériau est toujours très lourd et massif. Quelques cristaux gypseux y sont fréquents. Ces sols hydromorphes vertiques présentent, contrairement aux autres sols de la région, un pH basique (en moyenne 7,5 jusqu'à 1 mètre et 8,20 en dessous). La capacité d'échange est de l'ordre de 20 méq jusqu'à 1 mètre et la saturation du complexe absorbant quasi-totale ; en dessous, cette capacité d'échange passe à 45 méq et est saturée à 100%. La réserve en eau utile est de l'ordre de 10%. Le sol est relativement moins pauvre en phosphore assimilable (50 à 120 ppm Olsen) que les autres sols de la région (exceptés les "baibohos"). En définitive, les propriétés chimiques de ces sols sont plutôt bonnes. Par contre, leurs propriétés physiques et leur régime hydrique opposent de sérieuses difficultés à leur mise en valeur. Ils sont difficiles à travailler (trop humides ou trop secs), et à affiner. Généralement, ils ne sont pas utilisés (pâtûres à chiendent), même pour la riziculture irriguée, par manque d'eau ; il n'y a généralement pas de prise d'eau possible en amont, ou au prix d'efforts coûteux, sans rapport avec la superficie concernée qui représente finalement peu de chose. Les cultures vivrières (autres que le riz) ou arbustives, souffrent d'hydromorphie (asphyxie des racines par saturation de la porosité après gonflement des argiles).

En saison sèche, il est évident qu'il n'y a pas de possibilité d'utilisation de ce type de milieu ; il n'y a pas de nappe proche de la surface, ni capillarité, ni même humidité résiduelle accessible aux racines. Les possibilités d'irrigation économique sont nulles.

IV. 3. LES PLAINES FLUVIO-LACUSTRES A SOLS HYDROMORPHES MINERAUX (UNITES 28, 29, 30, 31)

Par rapport aux "glacis-plaines de fluage" précédents, les plaines à remblaiement fluvio-lacustre en constituent le prolongement aval et sont donc situées en position plus centrale dans la cuvette de l'Alaotra.

Les matériaux sont des alluvions stratifiées à "sable ou argile" ou à "sable et argile alternés". ; ils recouvrent sur parfois une grande épaisseur les matériaux argilo-sableux non triés de fluage qui en forment le soubassement. Les sols sont hydromorphes mais ici, *sans niveau organique notable* (ni tourbe ni "anmoor") ; il n'y a généralement pas plus de 3% de matière organique dans les 30 cm supérieurs. L'absence de tourbe indique que ces matériaux ou bien n'étaient pas (avant les aménagements) submergés toute l'année par une nappe d'eau épaisse du fait d'une pente ou d'une dénivellation suffisante par rapport aux plaines aval ou environnantes ou bien qu'ils résultent d'un alluvionnement dont la fréquence était incompatible avec la formation de tourbe qui demande un milieu calme et stable.

La distinction majeure introduite dans cet ensemble à "sols alluviaux non organiques" est commandée par la *granulométrie des dépôts*. Ce caractère a une haute signification géomorphologique et en même temps une grande importance agronomique. L'intérêt cartographique que nous lui avons accordé est donc doublement justifié et ceci, malgré la difficulté a priori d'une telle distinction, compte tenu du peu de temps dont nous avons disposé sur le terrain et de la pauvreté des "clés de photo-interprétation" utilisables sur ces immenses plaines dont l'état de surface est apparemment très homogène. La *relative* précision des limites à laquelle nous prétendons être parvenus en dépit de ces conditions, a été rendue possible, non pas (seulement) du fait de la multiplication des sondages tarières faits au hasard ou par quadrillage systématique et pas plus par d'exclusives déductions de surface (peu de choses dans l'état de surface, sauf pour l'unité 29, est révélateur d'un changement granulométrique du matériau) mais surtout par la compréhension globale de la structure du paysage et des relations que les "unités" des plaines entretiennent les unes vis à vis des autres. Cette méthode structurale, combinant raisonnements inductifs et déductifs, analyse et synthèse provisoire simultanées, observations ponctuelles et balayage comparatif (en amont, en aval et latéralement), nous a permis, en dégageant le plus vite possible l'organisation du paysage, de situer au mieux les endroits clés où les observations déterminantes devaient être faites. Une étude par sondages systématiques à plus grande échelle (donc *en principe* et a priori dans l'esprit de beaucoup, plus détaillée) localisée exclusivement sur des plaines alluviales bien circonscrites et coupées de l'amont explicatif, n'aurait pas pu, à notre avis, dégager l'organisation logique des matériaux et aurait pu aboutir à des "limites d'interpolation" artificielles délimitant des faits non "pertinents" tels que la proportion de "taches" et la profondeur de ces taches dans le sol (ce critère a très peu de signification dans ces types de milieu "anthropisés"). Autrement dit une étude globale au 1/50 000, comprenant l'environnement explicatif est souvent préférable à une échelle

inférieure (1/20 000 par exemple) sur un morceau de plaine "interdisant" de fait l'approche génétique, systémique et structurale. Ce n'est pas l'échelle de la carte qui détermine la précision et la qualité d'une étude, ni le nombre d'observations à l'hectare (ce dernier critère n'a aucune signification) ; c'est plutôt la façon dont sont implantées, sélectionnées et combinées les observations, c'est l'utilisation optimale du temps disponible (qui doit éviter le "déséquilibre analytique"), c'est le couplage de la zone d'étude avec ses environnements amont, c'est l'intégration constante de toutes les composantes du milieu, ce sont toutes les observations continues de surface et non pas seulement "discrètes" de profils ponctuels, ce sont enfin les multiples comparaisons à tous les niveaux, qui seules permettent de discriminer l'essentiel par rapport au "bruit de fond" ; c'est évidemment aussi le temps passé sur le terrain, mais ce temps peut être exploité plus ou moins bien en fonction de la méthodologie utilisée (ou imposée, malheureusement).

Le quadrillage systématique, toujours long et coûteux, est très rarement indispensable. Il n'est nécessaire que pour la logique administrative et bureaucratique ; mais cette illusion est entretenue trop souvent par les pédologues eux-mêmes pour lesquels cette idée qu'ils se font de la pédologie cartographique est tenace ; il s'agit en fait d'une "démission" devant une méthodologie beaucoup plus riche mais qui demande plus d'expérience et d'esprit "créatif" il est vrai. Le "machinal classificatoire" peut rassurer ceux qui ne sont pas faits en réalité pour la cartographie, mais il enferme, appauvrit et artificialise l'organisation harmonieuse de la nature. Contrairement à l'illusion, il ne garantit pas la "vérité" des limites, bien au contraire. Bref, pour nous, cette "méthode" ne présente aucun intérêt et nous prétendons qu'elle est inutile dans 90% des cas.

Après ces quelques considérations d'ordre méthodologique, qu'il nous semblait bon de signaler à cette occasion, revenons aux subdivisions que nous avons opérées dans ce grand ensemble. Nous avons ainsi distingué 4 unités d'après des critères de granulométrie des matériaux :

- les matériaux de texture très argileuse (unité 28)
- les matériaux de texture très sableuse, en distinguant d'après leurs situations géomorphologiques :
 - . les cordons littoraux (unité 29)
 - . les levées alluviales peu marquées (unité 30)
- les matériaux de texture hétérogène, à couches sableuses et argileuses imbriquées (unité 31)

IV. 3. 1. LES MATERIAUX A TEXTURE TRES ARGILEUSE (UNITE 28)

Les alluvions argileuses à sols non organiques caractérisent essentiellement la moitié amont du vaste cône *fluvio-deltaïque* de l'Anomy et dans une moindre mesure la "gouttière" de la Sahabe (en amont de son cône).

Le matériau est composé, dans sa partie supérieure sur au moins 1 mètre d'épaisseur, d'une argile grise kaolinique très fine non micacée,

pratiquement sans sable (en moyenne 65% d'argile, 30 % de limon, 5 % de sable). En dessous, sans transition, on passe directement à du sable quartzeux (non micacé) moyen à grossier quasiment pur, de couleur beige clair, présentant souvent une litation entrecroisée. Il s'agit donc d'alluvions fluvio-lacustres (deltaïques) typiques, disposées en couches horizontales très bien triées granulométriquement, passant de l'une à l'autre par une discontinuité texturale brutale. On n'y observe pas de couches argilo-sableuses, telles celles qui caractérisent les "matériaux de fluage" non triés, des "glacis-plaines situés en amont (voir unité 25).

Les conditions de dépôt sont celles d'un cône deltaïque fluvio-lacustre. Le lac Alaotra a été repoussé vers l'Est, au fur et à mesure de la construction et de l'avancée de ce cône. Il y a d'abord eu un remblaiement par une "semelle" sableuse, correspondant à une décharge brutale et turbulente de sédiments grossiers en provenance de la gouttière de l'Anony. Puis, au fur et à mesure de l'élévation du remblaiement, fluvio-lacustre, les cours d'eau transporteurs de sédiments se sont mieux canalisés sur le cône de l'Anony, les conditions de dépôt de part et d'autre de ces défluent sont devenues plus calmes ; se sont alors déposées par débordement des argiles fines de décantation, à travers une végétation de cypéracées. Chronologiquement à un endroit donné du cône, à mesure que celui-ci se rehausse, on passe progressivement de conditions fluvio-lacustres à des conditions fluviales, sans nappe d'eau libre permanente ; le régime hydrique évolue donc d'une submersion lacustre profonde (plus de 2 mètres) à une submersion peu épaisse, puis à une submersion saisonnière fluviale. Mais spatialement à un moment donné, une telle évolution s'observe aussi, entre l'aval du cône, encore totalement submergé, à dépôts sableux, et l'amont de ce cône, qui lui, n'est soumis qu'à une inondation par débordements de défluent et alluvionnement fin.

Ces conditions et cette dynamique de dépôt expliquent parfaitement que l'on trouve la "semelle sableuse" (sous l'argile) à une profondeur d'autant moins importante que l'on se situe plus en aval du cône (voir unités 26, 27, 29, 31). Il n'est également pas étonnant, d'autre part, que les sols, sans être tourbeux, sont cependant plus riches en matière organique et plus hydromorphes en aval (unités 32 à 34) qu'en amont du cône de l'Anony.

L'absence de tourbe franche sur le cône de l'Anony résulte d'un alluvionnement minéral suffisamment rapide pour contrarier l'accumulation lente des résidus végétaux des cypéracées. Nous verrons que les conditions hydrologiques et sédimentologiques sont différentes sur le cône de la Sahabe (PC 23) où le bilan est alors favorable à la "sédimentation organique" et donc à la formation de tourbe épaisse.

Le régime hydrologique actuel, c'est à dire les mouvements spatiaux et interannuels des eaux libres, en surface et sous la surface, sont différents selon que la zone est ou n'est pas aménagée. Les zones non aménagées directement occupent essentiellement la "gouttière" de la Sahabe et de la Mavolava, mais les digues et aménagements aval (PC 23) n'ont sans doute pas été sans influence sur le régime des eaux de l'amont. La totalité du cône de l'Anony a été drainée. La reconstitution (hypothétique) du régime hydrologique en saison des pluies, dans l'impossibilité matérielle où nous étions d'observer celui-ci de façon directe, n'a pu être avancée que par des critères indirects, par l'observation des effets sur la végétation et des "traces" laissées sur le matériau même.

Avant aménagements, donc en régime supposé naturel, le régime d'hivernage est caractérisé par une inondation relativement épaisse (de l'ordre du mètre), circulant très lentement à travers le filtre à cypéracées qui piège les argiles de décantation apportées par les crues des rivières. Cette inondation est due à la conjonction des remontées de nappe phréatique, des eaux pluviales directes et de ruissellement, et enfin du débordement de la Sahabe et de son affluent de gauche, la Mavolava. Cette eau engorge donc et sature toute la porosité du matériau, mais elle ne circule latéralement que très lentement dans l'argile fine supérieure ; par contre elle présente un flux latéral sensible dans le sable sous-jacent, qui s'accélère lors du "ressuyage" après la fin de l'hivernage. En saison sèche, le plan d'eau d'inondation baisse jusqu'à environ 30 cm sous la surface. Cette baisse est le fait combiné de l'ETP et du drainage naturel vertical et surtout latéral dans la semelle sableuse sous-jacente.

Les aménagements ont eu pour effet d'écrêter sensiblement la nappe phréatique, de contrôler et de répartir uniformément (plus ou moins bien) sur 20 cm d'épaisseur la nappe d'inondation. Cette inondation assistée par l'irrigation artificielle ne correspond pas au réel niveau piézométrique, celui-ci étant rabattu sous la surface par les drains profonds. L'irrigation crée donc une nappe perchée **supérieure**, qui n'est pas forcément en continuité avec la nappe profonde. Entre les 2 nappes d'eau libre, une zone à régime fluctuant est saturée ou non, suivant que l'eau d'infiltration de la nappe d'irrigation transite correctement ou engorge le matériau, suivant aussi que le toit de la nappe profonde est haut (centre des parcelles) ou bas (proximité des drains). Une submersion régulière des casiers rizicoles serait en effet difficile à assurer si on ne comptait que sur l'élévation du plan phréatique qui est susceptible de multiples fluctuations même en saison des pluies.

La nappe phréatique descend vers 2-3 mètres (généralement plus profondément en amont qu'en aval du cône) de la surface en fin de saison sèche. Elle se maintient dans le niveau sableux profond, et ne peut généralement pas alimenter suffisamment et jusqu'en surface, par capillarité, l'argile supérieure.

Les sols proprement dits sont évidemment des *sols hydromorphes*. Plus précisément ce sont des "*sols hydromorphes minéraux à gley*". Ce qui signifie qu'ils ne sont pas organiques, qu'ils possèdent moins de 6% de matière organique, et qu'ils ne se réoxydent pas en-dessous d'une certaine profondeur ("*gley réduit*"), alors qu'ils se réoxydent saisonnièrement au-dessus (*gley oxydé*) ou morphologie de *pseudo gley*). La faculté et la

rapidité de réoxydation d'un sol à battement de nappe ne sont pas exclusivement liées à la position la plus basse de cette nappe phréatique en saison sèche. La réoxydation est également conditionnée par la libération de composés organiques réducteurs, la texture et le type de porosité du matériau, ces deux derniers caractères commandant la pénétration de l'air. Un sol très argileux colmaté, à porosité très fine, peut rester à l'état réduit, même au-dessus du plan phréatique d'étiage. Les sols argileux du cône de l'Anony drainés depuis longtemps sont maintenant "marmorisés" (*gley oxydé*) jusque vers 100 cm de profondeur ; des taches brune et rouille peu contrastées de réoxydation du fer se superposent au fond gris de l'ancien *gley réduit*. Le critère "proportion et contraste des taches" n'est cependant pas très fiable pour déduire la dynamique actuelle de la nappe phréatique. En effet, il y a un phénomène d'hystérésis (retard de l'apparition des effets sur les causes) qui maintient une morphologie de "sol réduit" où la teinte grise générale, héritage des conditions d'engorgement total d'origine (antérieures aux aménagements) prédomine encore sur la marmorisation, malgré que la nappe descende maintenant profondément en saison sèche.

Ces sols hydromorphes, homogènes des points de vue textural et structural, sont très argileux (au moins 65% d'argile, moins de 5% de sable), possèdent une porosité faible et très fine ; ils présentent une structure polyédrique à prismatique, à larges agrégats ; le sol se fissure en saison sèche et de larges fentes (3 à 5 cm) apparaissent en surface.

L'utilisation de ces sols par la riziculture irriguée, (leur "mise en boue") est très défavorable au maintien d'une structure fine en surface. Cette structure est toujours très large, à grands prismes massifs et peu poreux, peu aptes donc à assurer une remontée capillaire en saison sèche. De ce seul point de vue, les sols organiques seront plus favorables (voir plus loin).

Les propriétés chimiques moyennes de ces sols argileux kaoliniques sont les suivantes : le pH est compris entre 5,3 et 5,6 ; la capacité d'échange est de l'ordre de 15 à 20 méq ; la somme des bases échangeables est comprise entre 10 et 15 méq. (les sols hydromorphes argileux sont donc beaucoup mieux saturés en bases que les sols ferrallitiques), les teneurs en phosphore assimilable (Olsen) sont faibles (moins de 20 ppm).

La capacité de rétention en "eau utile" (différence entre humidités pondérales à pF 3 et à pF 4,2) est relativement élevée (par rapport aux sols ferrallitiques à pseudo-sables de la région), de l'ordre de 10 à 14%.

Les conclusions pratiques que nous pouvons tirer de toutes ces caractéristiques hydro-morpho-pédologiques, sur l'aptitude agricole de ces sols sont les suivantes : leur aptitude à l'agriculture pluviale autre que la riziculture est mauvaise. Le cône de l'Anony n'a, de toute façon, pas été drainé et récupéré pour autre chose que la riziculture aquatique de saison des pluies. Malgré le drainage qui rabat la nappe phréatique, des conditions d'engorgement subsistent même en conditions de non irrigation. La topographie sub-horizontale (régularisée par le planage des rizières), la texture très argileuse des sols, font que les eaux percolent

beaucoup trop lentement pour écluser les apports d'eaux de surface (pluies et ruissellements) qui, par leur descente trop lente, engorgent le sol dans sa totalité, interdisant les cultures pluviales. La riziculture irriguée (sous lame d'eau) est ici parfaitement adaptée. Nous pensons que ces sols argileux non tourbeux de l'Anony, à *granulométrie homogène* sont parmi les plus intéressants de la cuvette de l'Alaoira, peut être même meilleurs que les sols tourbeux du PC 23. Les conditions d'aménagement et d'irrigation sont excellentes : le micro-relief (recoupements de bourrelets alluviaux) est ici peu marqué et les lentilles sableuses proches de la surface sont absentes (contrairement à ce qu'on observe sur le PC 23) ; ces caractères, ajoutés à l'absence de tourbe susceptible de se tasser font que le planage et le maintien d'une lame d'eau régulière sont mieux assurés. D'autre part, les sols hydromorphes minéraux de l'Anony sont sensiblement moins acides qu'ailleurs ce qui a une influence sur leur fertilité globale.

Concernant maintenant les possibilités de *cultures de contresaison*, particulièrement le blé, nous pensons qu'il n'est pas réaliste d'envisager l'utilisation exclusive du régime hydrique "naturel" sur ce type de sol. En effet, après la récolte du riz (vers le 15 Mai), le blé ne peut guère compter que sur l'humidité résiduelle du sol. Or, celle-ci, sur 1 mètre d'épaisseur est au maximum de 180 mm si on suppose (ce qui est très optimiste) que toute la "réserve utile" du sol ($\text{Eau utile en \%} \times \text{densité apparente} \times 10$) est disponible après la récolte. Une fois cette eau évapotranspirée par le blé, pour assurer le complément d'alimentation hydrique nécessaire (environ 400 mm) il faudrait que le relais soit pris par la remontée capillaire à partir de la nappe phréatique. Or, cette possibilité nous paraît extrêmement incertaine. La nappe phréatique, nous l'avons vu, du fait du réseau de drainage, descend assez profondément en saison sèche ; elle serait au moins à 2 mètres fin Septembre (bien que cela soit à moduler suivant que le site considéré est au centre ou en bordure de parcelle drainée). D'autre part, la forte proportion d'argile et la faible porosité du matériau (moins de 35%) sont peu favorables à un flux d'eau capillaire disponible pour le système racinaire du blé. Au mois d'Août lors de notre prospection les sols de rizières étaient déjà secs et fendillés dès la surface. Nos observations sur les nappes et les sols, nous permettent donc de penser que *l'alimentation naturelle par eau résiduelle + capillarité n'est pas suffisante pour assurer un cycle de blé de saison sèche*. Il s'agit d'un jugement global, qui n'exclut pas évidemment que quelques sites particuliers dans l'unité de milieu considérée, puissent trouver des conditions favorables à un tel type de culture. La culture du blé en contresaison ne peut être envisageable que dans les deux cas suivants :

1) s'il est prouvé par des *essais adéquats* (après remise en état du réseau), que la fermeture contrôlée dans le temps et l'espace des vannes des drains, ait pour résultat bénéfique de remonter en amont la surface piézométrique entre 50 et 100 cm de la surface. A ce moment là on peut penser que la capillarité puisse assurer l'alimentation hydrique satisfaisante du blé. Cette méthode théoriquement envisageable nécessite une bonne technicité et une parfaite discipline et sera donc certainement délicate.

2) s'il existe des possibilités d'irrigation, *soit à partir des retenues* situées en amont, si leur capacité est suffisante et leur remplissage correct, *soit à partir du pompage* dans la nappe d'eau libre du Lac Alaotra située à 750 mètres d'altitude, soit 5 à 10 mètres en-dessous du niveau des plaines à sols hydromorphes minéraux argileux. Une de ces 2 solutions ou une combinaison des deux nous semble être la seule façon de rentabiliser les aménagements en cultivant du blé à grande échelle en saison sèche.

IV. 3. 2. LES MATERIAUX A TEXTURE TRES SABLEUSE (UNITES 29 et 30)

IV. 3. 2. 1. SUR CORDONS LITTORAUX (UNITE 29)

Des cordons littoraux successifs ont matérialisé les avancées extrêmes dans le lac Alaotra des parties terminales du cône de l'Anony. Cet immense cône a ainsi peu à peu repoussé vers l'Est la rive occidentale du lac.

Ces bourrelets arqués marquant les rivages semi-lacustres du cône en formation, sont construits à partir des déversements de sédiments sableux apportés par l'Anony dans le lac Alaotra ; les mouvements du lac (avancées et reculées saisonnières corrélées avec le régime pluviométrique, courants latéraux), ont repris ces sédiments pour les concentrer en cordons littoraux ; ceux-ci prennent racine d'abord sous l'eau (2 à 3 mètres de profondeur) puis, par autocatalyse, se nourrissent en piégeant de nouveaux épandages sableux, et se surélèvent progressivement jusqu'à *affleurer* au niveau de la surface du lac. Ces rides sableuses sont les premiers colonisateurs "terrestres" du cône deltaïque, aux dépens du milieu lacustre ; à l'arrière des bourrelets, donc à l'abri des turbulences qui ont permis leur construction, décantent les sédiments argileux, en eau calme. Puis au fur et à mesure que le remblaiement progresse vers l'aval et que le cône se rehausse, passant d'un milieu fluvio-lacustre à un milieu strictement fluvial, les bourrelets sableux se trouvent isolés à l'intérieur des terres alluviales. Leurs reliques, bien visibles en aval du cône, s'estompent de plus en plus vers l'amont, où ils sont progressivement dégradés, émoussés et recouverts par la dynamique d'alluvionnement fluvial.

On les reconnaît assez difficilement au sol, et seulement avec un bon entraînement. Ils sont insensiblement surelevés (moins de 1 mètre) par rapport au niveau moyen de la plaine ; cette surélévation étant évidemment plus nette en aval qu'en amont. Du fait de leur dénivellation et de leur perméabilité excessive, ils ne supportent pas de rizières. Généralement, les paysans y construisent leurs maisons et y plantent quelques arbres.

Les cordons ont une direction sub-perpendiculaire aux génératrices du cône et forment des alignements discontinus, témoins des avancées successives de ce cône. Cette croissance ayant été irrégulière, les cordons successifs se recoupent et s'imbriquent fréquemment. Une telle disposition a pu être perturbée par le remaniement fluvial qui a repris ces cordons, les étalant et estompant ainsi leur disposition longiligne. Cette dynamique a été efficace surtout entre Tanambe, Vohitsara et Amborompotsy. Sur cette partie du cône de l'Anony, les cordons fluvio-lacustres ont été transformés

plus ou moins en bourrelets fluviatiles perpendiculairement aux précédents, c'est à dire, cette fois ayant la direction des génératrices du cône. On a ainsi un fouillis de bandes sableuses de largeur variable (moins de 200 mètres si le cordon littoral est intact, plus large s'il a subi une reprise fluviatile), se recoupant dans tous les sens ; seuls ceux qui "affleurent" en surface et qui ont conservé un axe d'allongement préférentiel, ont été indiqués sur la carte ; là où ils ne sont pas indiqués, ils ont été étalés et enterrés à faible profondeur, par des sédiments fluviatiles plus argileux, et ils sont alors intégrés dans les unités 31 et 33.

Les matériaux sont constitués sur une grande épaisseur (plus de 2 mètres) de sable quartzeux beige pur (non micacé) bien trié (sables moyens), à litation entrecroisée. Les sols sont des sols hydromorphes (nappe peu profonde en saison des pluies, absence d'inondation), cette hydromorphie affecte peu la morphologie du profil du fait de son absence de fer et d'argile. Il est de couleur gris-beige sans taches contrastées. Il n'y a jamais d'horizon organique. La teneur en matière organique est inférieure à 3%. Le sol est massif, sans structure, très filtrant. Il est acide (pH inférieur à 5), à très faible capacité d'échange (absence d'argile) ; il ne retient pas les engrais et les amendements.

Ces cordons et bourrelets sableux n'ont aucune aptitude rizicole. Ils sont utilisés pour la construction des maisons, l'installation des villages, des pistes, et pour les cultures vivrières de saison des pluies. Naturellement les cultures de contre-saison sans irrigation n'y sont pas envisageables.

IV. 3. 2. 2. SUR LEVEES ALLUVIALES PEU MARQUEES (UNITE 30)

Cette unité géomorphologique est extrêmement réduite. Nous ne l'avons mentionnée que sur le P.C. 15. En réalité, une grande partie des cordons littoraux de l'Anony (unité 29), a été remaniée par les cours d'eau et transformée en levées alluviales, qui auraient donc pu aussi bien être classées dans cette unité 30.

Sur le PC 15, la différence provient du fait que les bandes sableuses allongées parfaitement dans le sens des génératrices du cône, ne sont pas associées à des cordons littoraux, ceux-ci n'ayant jamais existé à cet endroit.

Nous n'insisterons donc pas. Par ailleurs, toutes les caractéristiques de *matériau* (sable quartzeux pur), de *sol* (hydromorphe non organique, non inondable), de *topographie* (très légère surélévation) et de *aptitude* (villages, cultures vivrières autres que le riz irrigué) sont les mêmes que celles qui ont été énoncées pour les cordons littoraux.

IV. 3. 3. LES MATERIAUX A TEXTURE HETEROGENE: COUCHES SABLEUSES ET ARGILEUSES IMBRIQUEES (UNITE 31)

Cette unité de milieu caractérise la partie Nord-Est du Cône de l'Anony, spécialement entre les villages de Tanambe, Vohitsara et Amborompotsy. A l'intérieur de cet ensemble s'imbriquent une multitude d'anciens cordons littoraux sableux (unité 29), repris ou non par la dynamique alluviale fluviatile.

Ici, *le matériau de remblaiement alluvial* est constitué d'une alternance d'argile fine et de sable quartzeux pur (non micacé), ce sable étant présent sous la surface, et recouvert par une couche d'argile de moins de 120 cm d'épaisseur. Les sols hydromorphes qui caractérisent ces matériaux en surface, ne sont jamais tourbeux, ni même moyennement organiques. Ce sont toujours des sols "minéraux" à moins de 6% de matière organique.

La mise en place de ces sédiments s'est passée de la façon suivante : elle résulte de la dynamique de construction du cône de l'Anony qui a vu se succéder et s'imbriquer, une phase fluvio-lacustre (deltaïque) et une phase plus strictement fluviale. La phase fluvio-lacustre, nous l'avons vu précédemment (unité 29) comprenait la construction de cordons sableux, et le colmatage argileux des "golfs" et cuvettes amont qu'ils protégeaient, par redistribution et tri des sédiments déversés dans le lac, en provenance de l'Anony et de ses défluent. Au fur et à mesure de l'avancée deltaïque du cône en aval (qui repoussait la nappe lacustre vers l'Est), celui-ci se rehaussait par des apports fluviaux en amont, dans la partie suffisamment émergée ; les défluent de l'Anony ont alors "balayé" (image de l'essuie-glace) la surface du cône, avec reprise des sédiments sableux deltaïques antérieurs, estompement des cordons littoraux reliques, constructions de bourrelets de direction perpendiculaire, apports de nouveaux sédiments, triés cette fois par la dynamique fluviale (sable sur les bourrelets, argile dans les cuvettes de décantation). Les matériaux du cône sont donc d'autant plus riches en strates sableuses proches de la surface que les cordons sableux littoraux reliques qui ont été remaniés par la suite (dont une grande partie des sédiments postérieurs est issue), étaient abondants. C'est le cas de cette partie du cône de l'Anony. L'intrication de sédiments issus de la superposition de la dynamique lacustre littorale par la dynamique fluviale, a engendré un milieu complexe, non seulement du point de vue *granulométrie des matériaux*, mais aussi des points de vue *modèle de détail* (axes d'écoulement, cuvettes légèrement déprimées et bourrelets se recoupant) et *régimes hydrologiques*.

Le régime des eaux d'inondation, d'irrigation (après aménagement) et de nappe est en effet fortement influencé, sinon conditionné, par la granulométrie du substrat, les discontinuités entre strates alluviales et les micromodèles. Dans cette partie du cône de l'Anony, ces composantes sont sujettes à des variations sur de faibles distances. Il y a cependant une corrélation entre épaisseur de l'argile au dessus du sable et position topographique. L'argile est plus épaisse dans les zones légèrement déprimées que sur les bourrelets et cordons surbaissés. Ces caractères nous sont aussi révélés par l'utilisation qu'en a fait l'homme : rizières *sur les argiles épaisses*, landes pâturées à chendent *sur les zones à sable proche qui ne retiennent pas l'eau* de submersion, cases, cultures vivrières ou plantations d'arbres *sur les zones "hautes", sableuses et non inondables*. Ce facteur "hétérogénéité" (intrication incartographiable de zones intéressantes et non intéressantes) est en lui-même une contrainte importante à l'utilisation agricole du milieu.

En hivernage, seules sont irriguées et rizicultivées les zones "basses" argileuses, cloisonnées par les recoupements de bandes sableuses ; les cultures vivrières "pluviales" autres que le riz y sont interdites. En saison sèche ces zones se dessèchent et se craquèlent fortement, la nappe descend vers plus de 2 mètres et sa frange capillaire ne peut atteindre la surface. La culture du blé sous irrigation ne peut être envisagée (à condition de tester la technique) que si on remonte le plan phréatique par fermeture des vannes des drains. S'il y a possibilité d'irrigation, les problèmes d'alimentation hydrique ne se posent pas et la culture du blé est possible, dans les mêmes conditions que sur l'unité 28 (voir ci-dessus). L'inconvénient spécifique à cette unité 31 est l'hétérogénéité du milieu et le cloisonnement, malaisés à cartographier, des zones argileuses.

Les zones à lentilles sableuses proches de la surface (moins de 1 mètre de profondeur) ne sont pas favorables au riz submergé. L'eau d'irrigation y drainant trop rapidement. En saison sèche, ces zones sont défavorables aux cultures en régime hydrique naturel ; la nappe est profonde et en plus, les coupures dues aux discontinuités texturales interrompent les remontées capillaires éventuelles.

Globalement cette unité de milieu de par son hétérogénéité imprévisible (granulométrie, régime hydrique, modelé), est donc assez défavorable au riz irrigué et très défavorable aux cultures de contre-saison, au blé en particulier.

IV. 4. LES PLAINES FLUVIO-LACUSTRES A SOLS HYDROMORPHES MOYENNEMENT ORGANIQUES (UNITES 32, 33 ET 34)

Nous sommes toujours ici dans les plaines à remblaiement alluvial fluvio-lacustre stratifié. Par rapport aux zones précédentes (plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes minéraux ou glacis-plaines de fluage), ces unités occupent des positions plus aval et plus proches de la cuvette centrale lacustre.

Les matériaux alluviaux sont composés soit d'argile grise fine sur une grande épaisseur à partir de la surface (cône de l'Anony, aval du PC 15, aval de la gouttière de l'Ilakana), soit de sable pur et d'argile fine en couches alternées verticalement ou imbriquées latéralement (cône de l'Anony exclusivement).

Le caractère distinctif "pertinent" vis à vis des ensembles "encadrants" en amont et en aval, donc lié à la situation relative à l'intérieur de la cuvette, est ici la teneur en matière organique des sols. Celle-ci est comprise entre 6 et 20% dans les 30 cm supérieurs, alors qu'elle est inférieure à 6% sur les sols hydromorphes "minéraux" (unités 28 à 31) et supérieure à 20% sur les sols hydromorphes tourbeux (unités 35 à 40). Pour cette raison les sols de cet ensemble sont qualifiés de "moyennement organiques".

L'horizon humifère épais (au moins 30 cm) n'a pas les propriétés des tourbes : il est dense, non susceptible de tassement ; il ne présente pas de débris végétaux non décomposés, il est constitué d'un mélange intime (appelé "anmoor") de matière minérale et de matière organique humifiée. Contrairement aux tourbes, ce matériau n'est pas apte à brûler. Ce type d'horizon organique est significatif des processus suivants : l'alluvionnement (décantation argileuse ou déversements sableux) a été suffisamment "rapide" pour contrarier l'accumulation sur eux-mêmes des débris organiques des cypéracées, qui elle, caractérise la tourbe. En deuxième lieu, contrairement au milieu totalement anaérobie (à nappe phréatique sub-affleurante ou nappe lacustre), favorable à la non humification et à la non minéralisation des débris végétaux accumulés, les sols argilo-humiques à anmoor se sont formés en conditions très réductrices mais non sous une nappe d'eau libre permanente (comme c'est le cas actuellement en périphérie du lac Alaotra, dans la large auréole à "Zozoro") ; dans de telles conditions une partie de la matière organique peu s'humifier et se lier à l'argile.

Ces sols, avant aménagement, n'étaient pas submergés en permanence, même si la nappe phréatique restait proche de la surface. La végétation naturelle devait être, à notre avis, davantage composée de *Cyperus latifolius* que de *Cyperus Madagascariensis* (Zozoro), ces derniers ayant les pieds sous une lame d'eau de plus de 50 cm d'épaisseur. Il n'y avait pas de "tourbe flottante" comme c'est le cas actuellement par exemple en aval du PC 15 et du PC 23, ce dernier ayant été "récupéré" en grande partie sur tourbe flottante (voir ci-dessous), ce qui explique que les sols moyennement organiques à "anmoor" y soient absents.

Faisons une remarque importante : nous ne considérons jamais que ces sols moyennement organiques à "anmoor" dérivent de l'évolution après drainage et mise en culture des sols organiques tourbeux. A notre avis, les sols originellement tourbeux (à "tourbe flottante"), après récupération par drainage, brûlis partiel, tassement, mise en culture, etc..., n'évoluent pas vers des "anmoors" ; ils restent tourbeux, même si leur tourbe d'origine très épaisse, très poreuse et à plus de 100% d'eau, se réduit à une couche tassée de 30/60 cm d'épaisseur. Cette couche a toujours plus de 20% de matière organique, donc, quelle que soit sa réduction d'épaisseur après récupération, est toujours fibreuse, spongieuse, très différente des "anmoors", et est donc à classer dans les tourbes.

Autrement dit, les "sols moyennement organiques" à "anmoors" ne sont pas un stade avancé d'évolution des tourbes après leur drainage comme certains l'ont affirmé (idée fausse au départ qui a évolué en un "postulat mythique" au lac Alaotra), mais résultent d'une genèse naturelle indépendante de toute action anthropique. Les sols à anmoors de l'Anony et du PC 15 n'ont jamais été des sols tourbeux avant l'intervention humaine. Pour être définitivement et totalement clair, même au risque de répétitions lassantes, nous affirmons que les 3 grands ensembles de sols hydromorphes sur matériaux fluviolacustres de l'Alaotra, à savoir, les sols hydromorphes minéraux, les sols hydromorphes moyennement organiques et les sols hydromorphes tourbeux ne dérivent en aucune façon les uns des autres, à la suite de la récupération du milieu ; ils résultent d'évolutions naturelles indépendantes, liées à la position et à la dynamique du niveau phréatique et à la vitesse d'alluvionnement, ces deux composantes étant conditionnées par les situations particulières des plaines en périphérie de la cuvette, et par rapport au centre de cette cuvette. Un ancien sol tourbeux n'a jamais,

du simple fait des aménagements, évolué vers un sol moyennement organique ; ce dernier à son tour n'a jamais, en aucun cas, pu donner, par drainage un sol hydromorphe minéral. De telles évolutions par minéralisation et humification de la matière organique brute n'ont pas pu se produire en 50 ans. Seules des transformations des propriétés physiques des horizons organiques se sont produites (tassement, fragmentation, augmentation de la densité apparente...).

A l'intérieur de ce grand ensemble, nous avons distingué 3 unités de milieu :

- les plaines à sols hydromorphes moyennement organiques de texture très argileuse (unité 32)
- les plaines à sols hydromorphes moyennement organiques de texture hétérogène, à couches sableuses et argileuses imbriquées (unité 33)
- la frange de fluctuation saisonnière des eaux libres de la cuvette centrale, à sols hydromorphes moyennement organiques de texture indifférenciée (unité 34).

IV. 4. 1. LES MATERIAUX A TEXTURE TRES ARGILEUSE (UNITE 32)

Cette unité de milieu intéresse une partie du cône de l'Anony, en aval des sols hydromorphes minéraux argileux (unité 28), la partie aval de la plaine du "PC 15" (au Nord-Ouest d'Ambatondrazaka) et la partie terminale de la plaine de l'Ilakana, bordant le marécage à Zozoro de la cuvette centrale. Le matériau constitutif est de même nature que celui des sols hydromorphes minéraux : il s'agit toujours d'alluvions fluvio-lacustres deltaïques stratifiées se terminant dans leur partie supérieure par une couche d'argile fine grise d'au moins 1 mètre d'épaisseur. Cette argile repose, par une discontinuité brutale, sur une couche sableuse composée de quartz pur (absence de mica) qui peut être grossier à très grossier (diamètre supérieur à 200 μ), et qui peut montrer une litation entrecroisée. Ces couches sont parfaitement triées (argile fine ou sable pur) ; il n'y a pas de couche argilo-sableuse, caractéristique du "matériau de fluage", sauf peut être sur le PC 15, en amont de l'unité 32, à la transition avec les "glacis-plaines de fluage" (unité 25).

La mise en place de ces argiles fines s'est faite en conditions de sédimentation très calme, par décantation lente. Sur le cône de l'Anony cette décantation se produisait dans des bassins protégés, en amont des cordons littoraux avancés qui eux, étaient construits avec les parties sableuses des apports sédimentaires qui se sont ainsi triés. Ces cordons sableux, au fur et à mesure du comblement fluvial, ont été remaniés puis recouverts par cette dynamique hydrologique et sédimentologique pour constituer la "semelle" sableuse des sédiments argileux. Le même type de mise en place prévalait sur les PC 15 et la gouttière de l'Ilakana, la différence étant que les déversements sableux initiaux avant leur recouvrement argileux, n'ont pas formés, à ces endroits, de cordons littoraux. Donc, partout, les sables se sont déposés chronologiquement avant les argiles.

Les sables sont les "sédiments-pionniers" de colonisation et de comblement du milieu lacustre par le milieu terrestre. Actuellement, en aval des cônes actifs de la Sahabe (unités 36 et 39) et de l'Anony (unités 29 et 33) la sédimentation est à prédominance sableuse ; les sables sont canalisés et transitent au fond des défluent (balayant les cônes) jusqu'à leurs débouchés en aval des cônes deltaïques ; à ce moment les sables s'épandent en nappes au fond de la lame d'eau lacustre avant d'être repris ou non par les courants latéraux ou les mouvements de fluctuation de cette eau libre, pour former ou non des cordons. Quant aux argiles, elles suivent plutôt les débordements peu turbulents des défluent sans entraîner les sables qui s'écoulent et transitent aux fonds des lits vers l'aval ; les argiles décantent alors en milieu calme sous cypéracées, en amont des sables d'épandage actuel qui transitent plus loin, pour recouvrir les sables antérieurs.

Là où la sédimentation ne se fait pas sous la forme de cônes de déjection aux débouchés des grandes vallées, les alluvions sont des reprises de "matériaux de fluage", dans leur totalité, par les eaux de surface, ou sélectivement par les eaux d'écoulement hypodermique des nappes phréatiques. Dans ce dernier cas, les sables sont lavés de leurs argiles ; celles-ci se redéposent en aval sous une lame d'eau calme, recouvrant des sables antérieurs. De telles alluvions occupent par exemple les parties aval du PC 15 et de la gouttière de l'Iakana.

Les sols proprement dits ont des caractères qui résultent d'une part du mode de mise en place des sédiments qu'ils affectent tel que nous venons de le voir et d'autre part du régime hydrologique de ces matériaux que nous examinerons plus loin. Il s'agit de sols hydromorphes moyennement organiques, à gley, très argileux. Ils présentent dans leur partie supérieure un horizon humifère de type "anmoor" de 30 à 50 cm, de teinte sombre (gris foncé à noir), argilo-limoneux à argileux, sans débris végétaux reconnaissables sauf à l'extrême aval du PC 15 où l'on observe de très fines particules végétales ("limons tourbeux") en transition avec les vraies tourbes. A l'état sec ce matériau "organo-kaolinique" montre une structure polyédrique surimposée par une structure prismatique moyenne. En dessous de l'anmoor (après une zone de transition) sur 70 à 150 cm d'épaisseur se trouve une argile kaolinique grise ("gleyifiée") homogène, très fine, sans taches, très plastique à l'état humide, à très faible porosité mais qui, à l'état sec montre une belle structuration.

Les caractères analytiques de ces sols sont les suivants :

. L'"anmoor" possède 6 à 20% de matière organique en moyenne (10 à 20% sur le PC 15, 6 à 10% sur le cône de l'Anony). Son pH est de l'ordre de 5,6 (légèrement moins acide que les tourbes). Sa capacité d'échange est relativement élevée, de l'ordre de 30 méq ; la somme des bases échangeables est également élevée (15 à 20 méq). La teneur en phosphore assimilable (Olsen) est élevée (50 à 200 ppm) par rapport aux sols moins organiques.

. L'"argile fine grise" sous-jacente à l'anmoor est toujours très homogène ; elle montre la répartition granulométrique moyenne suivante : 70% d'argile (0-2 μ), 12% de limons fins (2-20 μ), 10% de limons grossiers (20-50 μ), 6% de sables fins. Il s'agit d'une moyenne ; pour le cône de

l'Anony les argiles atteignent une teneur de 80% ; pour le PC 15 et l'Ilakana ce taux d'argile est de l'ordre de 60%. Contrairement aux sols ferrallitiques et aux "baibohos", ces sols fortement hydromorphes ne contiennent pas de "pseudo-sables". La capacité d'échange est comprise entre 15 et 20 mé% ; la somme des bases échangeables est comprise entre 10 et 15 mé% (ces sols présentent donc un taux de saturation élevé, ce qui est une différence importante par rapport aux sols ferrallitiques). Le pH est compris entre 5,3 et 6. Une autre caractéristique importante par rapport aux sols non hydromorphes, est la capacité de rétention en eau utile qui ici, est relativement élevée (10 à 14% d'humidité pondérale, au lieu de quelques pour cent pour les sols ferrallitiques à pseudo-sables).

Ces sols, comme les sols hydromorphes minéraux argileux (unité 28 précédente) auxquels ils sont associés en amont sur l'Anony, présentent donc des caractères de fertilité meilleurs que les autres sols hydromorphes de la région (mis à part les sols de "baibohos" limono-micacés, qui sont encore meilleurs) en particulier plus intéressants à notre avis que ceux des sols tourbeux et des sols hydromorphes argilo-sableux des "plaines de fluage".

Le régime hydrologique

Comparés aux sols hydromorphes minéraux, les sols moyennement organiques sont situés plus en aval et ont donc subi des engorgements plus prolongés, avec l'évolution corrélative conditionnant les caractères de ces sols : gleyification plus prononcée (pas de taches de réoxydation) et accumulation plus accentuée de matière organique liée à l'argile ("anmoor").

A l'état non aménagé, avant les travaux de drainage, ces zones étaient des marécages à cypéracées (*Cyperus latifolius* probablement). La nappe phréatique devait engorger le sol jusqu'en surface toute l'année ; l'inondation était assez épaisse en hivernage (environ 1 mètre), avec une circulation latérale vers l'aval quasi-nulle. Sur le cône de l'Anony cette nappe d'eau libre superficielle se raccordait et se confondait avec l'eau du lac Alaotra ; sur le PC 15 et les gouttières de l'Ilakana, elle se raccordait à l'eau libre épaisse et permanente de l'auréole à "Zozoro" (*Cyperus madagascariensis*).

Donc, avant les aménagements, l'inondation de ces zones à sols moyennement organiques était due autant à la remontée vers l'amont (direction centrifuge) de la nappe lacustre centrale (alimentée par toute sa périphérie) que par les ruissellements sur leurs bassins spécifiques, strictement amont, avec débordements des cours d'eau qui en proviennent. Les sols hydromorphes minéraux précédents n'étaient affectés (en plus de la remontée de la nappe phréatique), que par les arrivées d'eau de l'amont et non par l'extension saisonnière de la nappe lacustre centrale. L'inondation était une lame d'eau à circulation lente vers l'aval, alors qu'ici la lame d'eau est très peu mobile car sujette aux fluctuations lentes du lac. Cette lame d'eau permettait une décantation lente des particules argileuses en suspension, à travers les cypéracées, piégeant donc de fins débris organiques.

En saison sèche, toujours avant les aménagements, le plan d'eau de surface regressait par retrait de la nappe lacustre et descende de la nappe liée à ce lac, pour se stabiliser à moins de 30 cm de la surface. Le sol était donc soumis à un engorgement permanent.

Ces zones ont été drainées, leurs régimes hydrologique et hydrique actuels sont totalement différents en saison des pluies, les drains profonds, qui se prolongent jusqu'à la nappe lacustre, ont "écrêté" le niveau piézométrique de la nappe phréatique jusqu'au niveau de la surface topographique ; les casiers rizicoles, planés et cloisonnés, sont submergés par une nappe d'eau de 20/25 cm d'épaisseur, bien répartie et amenée par les canaux d'irrigation branchés sur les réservoirs amont (barrages). Ces eaux d'irrigation constituent une "nappe perchée" engorgeant la partie supérieure du sol qui peut être indépendante de la vraie nappe phréatique rabattue par les drains ; de toute façon aucune réoxydation n'est possible en hivernage même si la "zone intermédiaire" entre les 2 nappes n'a pas sa porosité continuellement saturée. Après la fin des pluies, les rizières se ressuient progressivement par évaporation et infiltration profonde lentes ; la nappe phréatique générale baisse, celle-ci n'étant plus alimentée par les irrigations, les eaux pluviales directes, les ruissellements, et par les nappes des versants périphériques avec lesquelles elle est en continuité. En fin de saison sèche le niveau phréatique est situé entre 100 et 200 cm de profondeur, celle-ci étant commandée par la profondeur des drains entourant les parcelles, et par l'éloignement du site par rapport à ces drains (nappe plus haute en milieu de parcelle qu'en bordure de drain). Donc par rapport aux sols hydromorphes minéraux situés plus en amont, cette nappe descend nettement moins bas, ce qui peut être un avantage dans l'éventualité d'une culture de contre-saison utilisant la remontée capillaire.

Les aptitudes culturales de cette unité de milieu peuvent être appréciées de la façon suivante :

. la culture pluviale autre que la riziculture n'est pas à envisager, même en présence d'un réseau de drainage. Les sols excessivement argileux, leurs très faibles porosité et perméabilité, la pente extrêmement faible du terrain (moins de 1% en général), font que ces sols sont toujours affectés par un engorgement de surface dû à une nappe perchée. Les cultures autres que le riz ne supportent pas de telles conditions.

. la riziculture est ici parfaitement adaptée ; les conditions topographiques sont très bonnes (platitude quasi-parfaite, peu de "mesorelief"), ainsi que la nature des sols ; ceux-ci sont homogènes, argileux, sans sables, imperméables. Ces conditions sont favorables au maintien d'une lame d'eau régulière, à faible percolation.

. les cultures de contre-saison sans irrigation, peuvent être tentées (expérimentation préalable nécessaire), bien que nous soyons dans des conditions "limite", concernant les possibilités de remontée capillaire à partir du plan d'eau phréatique. Un blé semé fin Mai, qui a besoin d'environ 600 mm pour assurer son cycle, pourra compter pour cela sur :

1) l'épuisement de la "réserve utile du sol" qui peut être appréciée à 180 mm (sur 1 mètre d'épaisseur) au maximum. Le blé, pour être semé dans de bonnes conditions, sur un sol bien préparé, nécessite que la rizière soit "drainée" (ouverture des diguettes) suffisamment à l'avance. A partir du semis on peut néanmoins supposer que la "nappe perchée" créée par l'inondation de la rizière lors du cycle de riz précédent et "écrêtée" en surface par ouverture des diguettes, descend lentement en profondeur,

pour alimenter la vraie nappe phréatique "enracinée". Dans ces conditions, il est logique de penser que le blé bénéficiera de l'eau utile du sol (180 mm) subsistant à la "traîne" de cette nappe saturante lors de sa descente et qui sera alors exploitée par les racines et évapo-transpirée, sur environ 1 mètre de profondeur,

2) ces 180 mm sont très insuffisants et le reste de l'eau devra être assuré par "la remontée capillaire". Concernant le stock d'eau disponible à partir de celle-ci, une grande incertitude subsiste. L'expérience nous a appris (rizières des hauts plateaux sur matériaux moins argileux) que, dans ces matériaux excessivement argileux et peu poreux, une nappe stabilisée à plus de 120 cm de profondeur en Octobre (ce qui semble être toujours le cas sur ces zones aménagées) n'est plus capable à partir d'une certaine date d'engendrer un flux capillaire à débit suffisant, jusqu'aux racines. L'inconnue est donc : jusqu'à quelle période de la saison sèche la capillarité est-elle suffisante pour l'alimentation hydrique du blé. Si cette période correspond également à la période d'utilisation de la réserve en "eau utile", son intérêt est minime. A partir d'une certaine période qu'il faudra déterminer (15 Juillet ?) la nappe est trop profonde et le front de "capillarité utile" se décroche du système racinaire. Cette date de décrochement est sans doute corrélée étroitement, sur un matériau argileux homogène donné, avec la position de la nappe en Octobre (récolte du blé). Les autres questions liées aux précédentes sont : quelle est la part de "capillarité utile" dans la remontée capillaire totale et quelle est l'épaisseur de la frange capillaire. Tous ces paramètres devraient être spécifiés par l'expérience de terrain, après détermination des implantations, des fréquences et des observations pertinentes à faire, concernant la position de la nappe (piézomètres), l'E.T.P., l'humidité du sol (sonde à neutrons, bougies poreuses ou prélèvements in situ), la porosité, la perméabilité, la granulométrie, etc... Un semblable protocole expérimental nous paraît indispensable. A côté de cela, on pourrait envisager, pour l'évaluation spatiale des régimes hydriques, de coupler ces observations et mesures au sol par l'exploitation régulière pendant l'année des documents satellites (spécialement les "images" du satellite SPOT qui sera lancé par Ariane en 1985 et, en attendant, les images de Landsat). Un tel programme cohérent, parfaitement réaliste et concrètement envisageable très rapidement, serait du plus haut intérêt, pour avoir enfin une idée précise des régimes hydriques et hydrologiques de la cuvette du Lac Alaotra.

A l'heure actuelle, nous ne pouvons faire mieux que des supputations "vraisemblables" et cohérentes avec les faits observés, mais quantitativement assez hasardeuses.

Nos conclusions (provisaires donc), concernant la possibilité de cultiver du blé sans irrigation sur les sols hydromorphes argileux moyennement organiques sont les suivantes : il est peu réaliste de penser à ce type de production sur ce type de milieu, et sur de grandes superficies. Nous sommes, il est vrai, en conditions plus favorables que sur les plaines amont à sols hydromorphes minéraux (unité 28) car d'une part, la nappe y est ici moins profonde, d'autre part, la teneur en matière organique plus élevée réduit sensiblement l'évaporation et ralentit la dessiccation du sol.

On se rapproche de l'effet "mulch" qui caractérise les sols tourbeux situés plus en aval (voir ci-dessous, unités 35, 36 et 37). Cependant, la nappe descend encore trop profondément dans ces sols à 70% d'argile et à porosité très faible, pour qu'on puisse compter régulièrement sur une capillarité remontant suffisamment et utilisable par les racines. On peut éventuellement prendre en compte le "gradient" positif (nappe plus haute, matière organique plus importante) d'amont vers l'aval, et moduler ainsi nos réserves en disant que la culture du blé présente plus de chances de réussite dans les "parties aval" des unités que dans les parties amont. Il nous semble, d'autre part, qu'en moyenne, les sols du Sud (PC. 15 et plaines de l'Ilakana) sont plus favorables que les sols du Cône de l'Anony, ces derniers étant plus argileux et moins organiques. Donc, par "partie aval plus intéressante" nous voulons hiérarchiquement dire "quart aval" pour l'Anony et "tiers aval" pour les plaines du Sud.

Le blé sous irrigation, si les disponibilités en eau existent (par gravité à partir des retenues amont ou par pompage dans l'eau lacustre), par compte, ne pose pas de problème particulier, les conditions pédo-climatiques étant favorables.

Enfin une autre technique, déjà mentionnée (voir ci-dessus) et à tester consisterait à fermer les vannes des drains pour remonter la nappe et accéder ainsi à la capillarité.

IV. 4. 2. LES MATERIAUX A TEXTURE HETEROGENE : COUCHES SABLEUSES ET ARGILEUSES IMBRIQUEES (UNITE 33)

Les sols hydromorphes moyennement organiques, à texture hétérogène, sable et argile, étant verticalement et latéralement imbriqués sur de faibles distances (non cartographiables à l'échelle du 1/50.000) caractérisent uniquement le cône fluviodeltaïque de l'Anony. Cette unité est homologue de l'unité 31 à l'intérieur des sols hydromorphes minéraux. Donc par rapport à l'unité 31, l'unité 33 est située en position plus aval, plus proche du lac, elle est située également plus en aval que sa correspondante argileuse (unité 32) ; les sables comme nous l'avons déjà expliqué (voir ci-dessus) sont en effet déversés les premiers ("sédiments-pionniers") lors de la construction des cônes de déjection remblayant le lac, avant d'être recouverts postérieurement (donc en amont) par des argiles fines. L'unité 33 caractérise plus spécialement, sur le cône de l'Anony, la région d'Anororo et d'Analatsisivahy, y sont imbriqués les cordons littoraux reliques, de formes arquées (unité 29) qui, du fait de la progression du cône sur le lac, se trouvent actuellement à l'intérieur des terres. Ces cordons ont été remaniés, arasés et plus ou moins enterrés par les sédiments postérieurs argileux. La reprise des sables par ces apports fluviatiles argileux a conduit au dépôt d'un *matériau hétérogène*, comportant des couches argileuses et sableuses fréquentes, à l'intérieur duquel, compte tenu du niveau de perception que permettent l'échelle de la carte et le temps passé sur le terrain, il est impossible de faire des subdivisions cartographiques plus fines. L'hétérogénéité globale du milieu sera en elle-même une contrainte pour la mise en valeur.

La mise en place de ces matériaux a été précédemment exposée en détail à l'occasion des unités 31 et 32 ; nous y renvoyons donc le lecteur. Ici, on a une combinaison des deux dynamiques que nous nous contentons de rappeler : mise en place, verticale et latérale, des sables et des argiles, par apports alluviaux fluviatiles s'imbriquant avec les cordons littoraux sableux antérieurs remaniés ou enterrés ; sédimentation de ces strates alternées dans des "golfs" protégés des turbulences lacustres et situés à l'arrière des cordons littoraux, ceux-ci étant actuellement très surbaissés et insensiblement "perchés" ; matière organique s'accumulant par piégeage de fin débris plus ou moins humifiés au sein des alluvions et par ralentissement de la minéralisation dans ces conditions d'engorgement prolongées ; absence cependant de tourbe vraie du fait d'une inondation insuffisante avant aménagement ; formation en surface de sédiments "organo-minéraux" (6 à 20% de matière organique) de type "anmoor" ou argile "semi-tourbeuse".

Les matériaux de remblaiement alluvial sont, rappelons le, constitués de couches triées, d'argile fine kaolinique de couleur grise et de sable quartzeux pur (sans mica) de couleur beige. Le plus généralement, le sable n'est pas directement affleurant, mais il est présent à faible profondeur suivant une couche ondulée dont le sommet est situé entre 30 et 200 cm de profondeur. Il peut arriver que sable et argile soient intimement mêlés dans une couche "argilo-sableuse" ; cela est cependant rare, et résulte d'un remaniement des cordons sableux, dont le sable a été mélangé à des arrivées de sédiments argileux, en milieu turbulent mais sans grand transport, par exemple, à l'arrière des cordons sableux s'opposant à ce transport. Les cordons littoraux perpendiculaires aux génératrices du cône, donc perpendiculaires à la dynamique fluviatile postérieure ont joué en tant qu'obstacles transversaux, un rôle de trouble-fête, contrariant la mise en place "normale" des sédiments fluviatiles, qui, habituellement, s'ordonnent et se trient logiquement en fonction de la chute de compétence des eaux de débordement des cours d'eau. Ici, les anciens cordons littoraux transverses ont favorisé des turbulences "anormales" qui ont permis le dépôt "d'argiles sableuses" non triées, alors que celles-ci sont inhabituelles dans les dépôts strictement fluviatiles. Nous verrons que les conditions de sédimentation sur le cône de la Sahabe (PC. 23) sont d'un type très différent ; la comparaison est très intéressante et nous y reviendrons (voir unités 35 à 39) ; disons dès maintenant que sur le cône de la Sahabe, les marécages à "Zozoro" s'interposent entre le lac proprement dit (et donc ses turbulences) et le comblement fluvio-deltaïque, de sorte que les cordons littoraux, si spécifiques du cône de l'Anony, n'ont pas pu se former ici, et où, par conséquent les sables se sont déposés plutôt sous forme de "langués de déversement" et de bourrelets, allongés selon les génératrices du cône.

Les sols, comme les précédents (unité 32), sont à classer dans les sols *hydromorphes moyennement organiques* à "anmoor". En surface, ces sols sont le plus généralement argileux, mais des couches drainantes de sable pur apparaissent habituellement entre 30 et 100 cm de profondeur. Par rapport aux sols de l'unité 32, cette présence de sable à faible profondeur est le facteur essentiel de différenciation et la source d'une contrainte spécifique.

Les caractères moyens des sols sont donc les suivants :
sur les 30 à 100 cm supérieurs, le sol est gris foncé puis gris, sans taches ; la texture est très fine ; la teneur en argile, très élevée, atteint 80% ; la teneur en sables quartzeux est faible (5% de sables fins à 50-200 μ) ; il n'y a pas de "pseudo-sables". La structure est polyédrique anguleuse à prismatique moyenne ; la porosité est très faible (environ 30%), ainsi que la perméabilité. Le taux de matière organique entre 0 et 30 cm de profondeur est compris entre 6 et 10% ; cette matière organique est suffisamment liée à la matière minérale pour constituer une "argile humique" (anmoor) non susceptible de tassement, contrairement aux sols tourbeux. Cette partie argileuse supérieure possède les caractères analytiques suivants :

. l'anmoor (ou argile humique) supérieur a un pH de 5,5 à 5,8 (moins acide que la tourbe), une capacité d'échange élevée (comparée aux sols moins organiques) d'environ 30 mé%, une somme des bases échangeables de 15 à 20 mé% donc également élevée, tout comme la teneur en phosphore assimilable-Olsen (50 à 200 ppm).

. l'argile fine grise minérale sous-jacente présente un pH compris entre 5,5 et 6 donc modérément acide comparée à d'autres sols ; sa capacité d'échange est de l'ordre de 15-20 mé% et la somme des bases échangeables de 10 à 15 mé%. La capacité de rétention en eau utile est comprise entre 10 et 14%.

Sous le matériau argileux, en dessous de 30 à 100 cm de profondeur, se trouve généralement du sable quartzeux quasiment pur (80 à 90%). Ce sable a une structure massive ; il est compact à l'état sec, friable à l'état humide. Il possède naturellement une très faible fertilité chimique (capacité d'échange de 2 mé%) et une très faible capacité de rétention en eau utile (2%).

Le régime hydrologique auquel est soumise cette unité de milieu, bien que comparable à celui de l'unité 32 (voir ci-dessus), est cependant moins favorable, du fait de la présence de sable à faible profondeur.

Avant le drainage généralisé de cette zone, celle-ci constituait un marécage permanent inondé en hivernage et à nappe sub-superficielle en saison sèche. La végétation devait être composée de cypéracées dont les débris se mélangeaient aux sédiments argileux pour donner un "anmoor" ou une argile "semi-tourbeuse".

Actuellement (donc après aménagement) une "nappe perchée", alimentée par les pluies et la submersion artificielle par le réseau d'irrigation, engorge la partie supérieure du sol, alors que la vraie nappe phréatique remonte, sature le matériau sableux sous-jacent à l'argile fine supérieure sous laquelle elle se maintient en charge. Ces deux régimes de saturation du matériau, l'un à partir de la surface, l'autre en provenance de la profondeur, se télescopent et se confondent pendant une grande partie de la saison des pluies. Après la fin des pluies la nappe perchée s'épuise par percolation verticale lente (très faible porosité du sol argileux), mais surtout par évaporation. Quand à la nappe phréatique profonde elle descend ou circule latéralement dans les couches sableuses drainantes. La nappe phréatique générale reste pendant une partie de la saison sèche en charge sous le matériau argileux supérieur, si ce matériau a plus de 1 mètre d'épaisseur ; puis la nappe descend jusqu'à plus de 1 mètre de profondeur en fin de saison sèche.

Ce régime hydrique à engorgement prolongé, crée des conditions réductrices (fer réduit → gley) qui sont entretenues et maintenues en saison sèche (donc même quand le matériau n'est plus saturé), par la richesse en matière organique réductrice et la très faible porosité du matériau. Celui-ci n'a pas le temps de se réoxyder correctement et reste à l'état de gley réduit, de teinte grise.

Les aptitudes culturales sont dans l'ensemble moins favorables que celles de l'unité précédente à sols exclusivement argileux (unité 32). C'est la présence de sable à faible profondeur, qui, en perturbant les régimes des eaux, constitue le facteur dépréciatif.

. *la culture pluviale autre que la riziculture* n'est pratiquement pas possible, compte tenu de l'engorgement total du sol. Les cultures vivrières se pratiquent de préférence sur les cordons sableux "anciens", nombreux dans cette région, très légèrement surélevés par rapport aux rizières.

. *la riziculture irriguée et submergée* est pratiquée. Cependant le maintien d'une lame d'eau homogène peut être délicat, compte tenu de la présence du matériau sableux ondulé plus ou moins proche de la surface. Une autre gêne pour les aménagements est la présence, au sein de cette unité, de nombreux dômes sableux arqués (cordons littoraux anciens) qui nuisent à la régularité du parcellaire et du tracé du réseau de drainage et d'irrigation.

. *les cultures de contre-saison sans irrigation* (légumes, blé) trouvent ici des conditions moins favorables que sur les sols moyennement organiques argileux (unité 32). Nous avons vu qu'une épaisseur argileuse de 1 mètre pouvait contenir environ 180 mm "d'eau utile" et qu'on pouvait espérer sa restitution aux plantes après la fin des pluies. Or, le niveau argileux supérieur a souvent une épaisseur inférieure à 1 mètre. Ces 180 mm théoriques constituent donc le maximum qu'on puisse espérer. Il faut donc, le reste du temps, compter sur la capillarité. On peut supposer que pendant la première moitié de la saison des pluies (jusqu'en Juillet), la nappe présente dans le sable et en charge sous l'argile, assure effectivement ce relais, en engendrant un flux hydrique capillaire "utile" jusqu'aux racines. Après Juillet, la nappe descend dans la couche sableuse et n'est plus en charge sous l'argile ; à partir de ce moment nous ne pensons pas que la capillarité utile puisse continuer à alimenter la plante. L'extrême richesse en argile du sol et sa faible porosité s'y opposent, même si la relative richesse en matière organique, limite l'ETP (effet "mulch").

Ces supputations sur le régime hydrique, qui seraient évidemment à vérifier, ne nous rendent pas optimistes sur l'avenir du blé sans irrigation sur le cône de l'Anony (l'unité 33 n'étant présente que dans cette région). Reste la possibilité de relèvement du plan d'eau par fermeture des vannes des drains. L'efficacité de cette technique n'est pas évidente ; nous pensons cependant qu'elle mérite d'être essayée.

. *les cultures de contre-saison avec irrigation* peuvent théoriquement être envisagées sur au moins une partie de la surface ; ceci, à condition, *soit* que les barrages amont (Sahamaloto et Sahamamy) aient pu stocker suffisamment d'eau en saison des pluies *soit* que l'on envisage le pompage dans le lac Alaotra (à cet endroit du cône de l'Anony, la dénivellation avec le lac proche ne dépasse pas 5 mètres), *soit* enfin que l'on recoure aux deux techniques.

IV. 4. 3. LA FRANGE DE FLUCTUATION SAISONNIERE DES EAUX LIBRES DE LA CUVETTE CENTRALE (UNITE 34)

Cette unité de milieu est formée par la bande "côtière" périphérique au lac, alternativement inondée et exondée, correspondant à la fluctuation saisonnière, elle-même étant liée à son alimentation par les cours d'eau et les nappes phréatiques en provenance de ses bassins versants. Cette frange n'est pas tourbeuse, l'exondation de saison sèche, s'opposant à l'accumulation de matière organique, favorise au contraire son humification et sa liaison étroite avec l'argile ("anmoor"). D'ailleurs, la végétation n'est pas composée de cypéracées mais de fourrés denses de mimosées épineuses. En saison sèche, la zone de fluctuation, lorsqu'il n'y a pas trop de mimosées, permet souvent d'accéder directement à l'eau du lac, sans être gêné par la frange à cypéracées, celle-ci étant absente à cet endroit.

La largeur de la frange de fluctuation est variable : sur la rive orientale elle est étroite et ne dépasse pas 200 mètres (parfois 50 mètres) ; sur la rive occidentale, spécialement à l'extrémité du cône de l'Anony, elle est beaucoup plus large, pouvant atteindre 4 kilomètres en aval d'Amborompotsy ; entre Vohitsara et Amboavory au Nord-Ouest, la largeur est comprise entre 500 et 1500 mètres.

Il faut noter que l'on n'observe pratiquement pas de frange de fluctuation des eaux libres, autour du marais à "Zozoro". Cette végétation de grandes cypéracées (papyrus), ayant les pieds sous 2 à 3 mètres d'eau libre qui est la prolongation méridionale du lac proprement dit, freine et amortit considérablement les fluctuations saisonnières latérales ; celles-ci sont donc moins ressenties au Sud qu'au Nord.

Les auréoles de fluctuations montrent souvent de nombreux petits "chenaux de vidange" parallèles, faiblement encaissés (moins de 50 cm de profondeur) à fonds plats ; ces chenaux, bien identifiables sur les photographies aériennes, ont été creusés par la force vive des eaux lorsqu'en saison sèche elles se retirent, le lac n'étant alors plus alimenté et se rétrécissant donc.

Les matériaux alluviaux, fluvio-lacustres de décantation, sont le plus souvent très argileux, exceptions faites de l'aval du cône de l'Anony où de nombreuses lentilles sableuses peuvent exister, et des extrémités des cônes de "baiboho" de l'Est, où les sols sont plus limoneux.

Les sols, non tourbeux, sont des *sols hydromorphes moyennement organiques*, à "anmoor" (6 à 20% de matière organique) ; ils sont de teinte gris foncé dans les 30 cm supérieurs, puis gleyifiés et gris uniforme en-dessous. Au Nord et au Nord-Ouest (entre Anony et Amboavory) des cristaux de gypse (minuscules géodes) peuvent être présents vers 1 mètre de profondeur. L'origine de ces sulfates nous est restée problématique. Le gypse caractérise souvent la frange de fluctuation de la nappe ; les sulfates étant contenus localement dans la nappe, ne peuvent avoir d'autre origine qu'organique (décomposition de cypéracées ?). Nous avons déjà observé de telles cristallisations gypseuses dans les argiles fines du cône de l'Anony, à partir de 100 cm de profondeur, spécialement dans les argiles qui résultent de l'érosion des sols des massifs de roches basiques situés en amont (gabbros, gneiss à amphibole) ; cette origine peut expliquer la présence de calcium.

Cette unité de milieu n'est pas cultivée ; les rizières bordent la limite de l'inondation par le lac. En effet, en hivernage, l'eau du lac envahit ces terres et les submerge sur au moins 50 cm d'épaisseur, ce qui est incompatible avec la riziculture telle qu'elle est pratiquée.

En saison sèche, ce type de milieu n'offre guère de possibilité de culture de décrue ou par capillarité. La surface la plus importante est située à l'aval du cône de l'Anony, au Sud-Est d'Amborompotsy, où le lac envahit un "golfe" de 4 km de large ; à cet endroit, le matériau comporte de nombreuses lentilles sableuses, néfastes à une alimentation hydrique par capillarité. Les seuls endroits non sableux, suffisamment vastes et pouvant éventuellement convenir aux cultures de contre-saison sont les franges de fluctuation du "golfe" d'Amboavory et celles qui bordent le "triangle - exutoire" du Maningory (Amdrombavohimenakely). Des essais de blé pourraient y être tentés ; il faudra vérifier que les époques et la vitesse de retrait des eaux (décrue) sont compatibles avec le cycle du blé et les calendriers culturels. Il est probable que la contrainte principale sera constituée par ce retrait progressif des eaux d'inondation, pendant la saison sèche ; semer trop tard obligerait le cycle du blé à empiéter excessivement dans la saison chaude, dépréciant ainsi fortement ses rendements ; cela exclut sans doute au moins la moitié aval de la frange.

I V. 5. LES PLAINES FLUVIO-LACUSTRES A SOLS HYDROMORPHES TOURBEUX (UNITES 35 A 40)

Mis à part les *marécages permanents irrécupérables* à "Zozoro" à eau libre profonde, qui entourent (surtout au Sud) le lac proprement dit et que nous avons classés dans ce grand ensemble, les zones tourbeuses occupent essentiellement la région Sud-Ouest de la cuvette et plus spécialement le "cône" deltaïque de la Sahabe. Ce vaste "golfe" tourbeux est situé à l'Ouest d'une ligne joignant les "presqu'îles" de Vositany (au Nord) et d'Antanjoana (au Sud), dont la direction NNW-SSE est celle des lames granitiques qui ont pu, à un moment donné du quaternaire fermer

et isoler le golfe en créant une cuvette lacustre indépendante. Nous avons déjà émis cette hypothèse précédemment (voir unité 19) pour expliquer l'occurrence exclusive en périphérie de ce même "golfe", des glacis-terrasses perchés (niveau de base ancien) à matériau stratifié alluvial. On peut donc supposer que la nature particulièrement tourbeuse de cette région Sud-Ouest de la cuvette a pour origine une fermeture ancienne de cette zone et sa vidange plus lente qu'ailleurs.

Le caractère de différenciation fondamental, par rapport aux autres ensembles fluvio-lacustres, lié à l'évolution géomorphologique et hydrologique actuelle et passée, est donc la richesse en matière organique des sols, celle-ci étant *supérieure à 20%*. Cette limite correspond à l'apparition d'un "faciès tourbeux", c'est à dire à la présence de débris végétaux non humifiés plus ou moins grossiers, en proportion importante. Cela s'accompagne de propriétés (rétention en eau, densité apparente, élasticité, spongiosité, aptitude à la combustion et au tassement, caractères chimiques...) spécifiques, que nous ne retrouvons pas sur les autres sols hydromorphes et donc qui, ajoutés au fait que la nappe phréatique est toujours proche de la surface, déterminent des contraintes particulières pour l'agriculture.

Les caractéristiques hydro-pédologiques actuelles des zones tourbeuses, en particulier l'épaisseur de la tourbe, dépendent en très grande partie de la présence ou de l'absence d'aménagements (drainage), et de l'ancienneté de ces aménagements. C'est la raison pour laquelle nous avons été amenés à faire les 4 subdivisions fondamentales suivantes :

- . zones aménagées et drainées à *tourbe résiduelle peu épaisse* (unités 35 et 36)

- . zones aménagées et drainées récemment à *tourbe encore assez épaisse* (unité 37).

- . zones aménagées, à *tourbe épaisse non flottante* (unités 38 et 39)

- . *tourbe flottante* de la cuvette centrale (unité 40)

A l'intérieur de ces sous-ensembles sera différenciée dans la mesure du possible, la *granulométrie du matériau* situé sous la tourbe ; il s'agit en effet d'une information importante pour le diagnostic des régimes hydriques et hydrologiques, éléments essentiels pour l'appréciation des "aptitudes culturales", aussi bien en hivernage (riz irrigué) qu'en saison sèche (maraichage ou blé sans irrigation).

IV. 5. 1. LES ZONES AMENAGEES ET DRAINEES A TOURBE RESIDUELLE PEU EPAISSE (UNITES 35 et 36)

Cet ensemble occupe une superficie très importante sur le cône deltaïque (fluvio-lacustre) de la Sahabe, où est située *la majeure partie du PC. 23*. Il intéresse aussi les "golfes" ou "gouttières" du Maningoro-Ranofotsy (Est de Bejofo, périmètre de la SORIFEMA), du Sud-Ouest d'Ambodirano, du Sud d'Ambongalava, de l'Ivakaka.

Le caractère propre à cet ensemble est que l'épaisseur de la tourbe résiduelle est ici généralement inférieure à 50 cm. Il s'agit d'une ancienne "tourbe flottante" ou "semi-flottante" (voir plus loin) qui, après drainage, brûlis, tassement, activités de la méso- et de la micro-faune, travaux culturaux... a évolué vers un support plus cohérent et plus stable, reposant sur les alluvions sous-jacentes.

Il nous faut ici évoquer assez longuement comment évolue une "tourbe semi-flottante" de la cuvette lacustre sous l'action du drainage, puis du brûlage et enfin des opérations culturales. Pour cela nous emprunterons certains résultats et conclusions de J. PICHOT (1966) et de R. DIDIER de SAINT-AMAND (1967), que nous intégrerons à nos observations et interprétations personnelles.

Les zones à tourbe résiduelle comme celle du PC.23 étaient à l'origine soit de vastes marécages à lame d'eau superficielle permanente généralement de moins de 1 mètre d'épaisseur, comme on l'observe actuellement à l'amont du cône d'épandage de la Sahabe, c'est à dire à l'Ouest de la route sur digue située entre Ambohitromby et Antandrokomby, soit une zone à nappe d'eau libre plus épaisse (plus de 1 mètre), à vraie "tourbe flottante" telle celle que l'on observe à l'extrême aval du cône de la Sahabe, dans la cuvette centrale. D'amont en aval, la lame d'eau était de plus en plus épaisse et on passait, par un continuum progressif, d'une tourbe "semi-flottante" à une "tourbe flottante" ; dans les deux cas la végétation est composée de grandes cypéracées appelées localement "Zozoro" (*Cyperus madagascariensis*). Par comparaison, et pour mémoire, rappelons que les zones à lame d'eau superficielle moins épaisse ou seulement saisonnières, toujours sans alluvionnement important, sont occupées de préférence par des "Herana" (*Cyperus latifolius*). Quant aux épandages fréquents et actifs, riches en sable ("baiboho"), ils sont caractérisés par une végétation de "Bararatra" (*Phragmites communis*). Ces types de milieux ont donné des sols hydromorphes minéraux ou moyennement organiques et non pas des sols tourbeux.

La tourbe est donc, dans la cuvette centrale de l'Alaotra, essentiellement le résultat de l'accumulation de débris de cypéracées, surtout de "zozoro", dont la taille des tiges au-dessus de la surface d'eau libre peut atteindre 4 mètres. Ces "zozoro" vivent sur leurs propres débris où ils puisent leurs éléments nutritifs en n'envoyant que peu de racines profondes dans le "substratum minéral".

A l'état "naturel", non drainé, on a généralement la succession de "matériaux" suivants :

. la partie supérieure, de 50 à 100 cm d'épaisseur, est constituée d'un lacis brun foncé à noirâtre de débris organiques grossiers non décomposés, mélangés à de nombreuses racines fonctionnelles ; cette trame très lâche est naturellement gorgée d'eau. La densité apparente théorique (eau non comprise et structure fibreuse conservée, ces 2 occurrences réunies étant en fait, à l'état naturel, impossibles) est très faible, de l'ordre de 0,2 à 0,5. La structure est "fibro-spongieuse" (on ne peut marcher dessus sans s'enfoncer dans l'eau). La densité réelle est d'environ 1,7. En volume ,,,

le "matériau" contient donc 80% d'eau. On ne peut pas parler de porosité dans la mesure où le drainage de cette tourbe brute grossière, provoque son affaissement général, et qu'il n'y a pas d'armature cohérente. L'eau fait donc partie du "matériau".

. la partie située entre 75 et 125 cm de profondeur environ, est constituée, comme au-dessus, de racines grossières, mais ici, non fonctionnelles bien qu'encore non décomposées. "Ces racines ont cependant perdu leur enveloppe externe, celle-ci s'étant désagrégée, seule subsistant la partie centrale cylindrique, fibreuse, dure, ayant sur toute sa longueur, environ 2 mm de diamètre, ces racines mortes forment une trame fibreuse moins lâche qu'en surface ; elles sont généralement incurvées suivant un "S" aplati" (D. DE SAINT-AMAND, 1967). La densité apparente est de l'ordre de 0,5. La teneur en eau volumique est de l'ordre de 70%. Cependant, cette "teneur" est sujette à variations interannuelles; lorsque la nappe d'eau libre, au-dessus du "substratum" ferme, fluctue, le décollement et l'"étirement" de ces niveaux supérieurs de racines grossières prennent alors des ampleurs variables. Le drainage, puis le feu, peuvent, par la suite, faire disparaître totalement cette matière organique brute. L'alluvionnement minéral fin, mélangé aux particules organiques, peut transiter, à travers ce lacis racinaire et décanter lentement au fond, à la base de la nappe d'eau libre.

. entre 100 et 200 cm de profondeur, la matière organique n'est plus formée de racines grossières brutes, mais de débris de racines finement désagrégées. La structure franchement fibreuse (à longues fibres) disparaît. On pourrait la qualifier de finement fibreuse. La tourbe est ici de cohérence spongieuse, élastique. Une certaine proportion de particules minérales y est piégée. La densité apparente est de l'ordre de 0,75, donc avec une certaine tendance au "décollement", au "semi-flottage". La teneur en eau, ramenée au volume "non remanié" (non tassé par drainage), est de l'ordre de 50-60%. Ce matériau est susceptible d'un certain tassement. Ce sont généralement ces "résidus tourbeux" (après tassement et parfois brulage partiel) que l'on trouve sur les zones aménagées du PC 23.

. entre 200 et 250 cm de profondeur, on quitte le matériau franchement tourbeux pour atteindre le matériau organo-minéral (argile humique le plus souvent), de couleur gris très foncé, pratiquement sans débris organiques visibles ; il s'agit d'un dépôt de décantation mêlant particules minérales et particules organiques fines. Cet "horizon", à l'état "naturel" (avant drainage), forme une boue fluante, de densité apparente de l'ordre de 1 (celle-ci augmentera après drainage et consolidation du matériau), et de densité réelle de l'ordre de 2 ; la porosité volumique est donc de l'ordre de 40-50%. Après drainage ce matériau aura l'apparence d'un "anmoor" argileux, sans débris organiques reconnaissables, situé sous la tourbe "résiduelle". Il formera l'horizon intermédiaire entre le matériau minéral profond et la tourbe résiduelle supérieure.

. en profondeur (à plus de 250 cm), on trouve le substratum minéral (argile kaolinique grise / sable quartzeux, en général) "cohérent", résultant de l'alluvionnement antérieur, à l'époque où la nappe lacustre d'eau libre était suffisamment épaisse pour empêcher le développement des cypéracées, donc l'accumulation tourbeuse (comme c'est le cas pour le lac Alaotra actuel). Ici, la densité apparente est supérieure à 1 (1,2 à 1,5) et la densité réelle de l'ordre de 2,1. La porosité du matériau est alors faible (30%).

La "récupération" de ces tourbes, après drainage et brûlage sur une période suffisamment longue (plus de 20 ans), aboutit à une tourbe résiduelle peu épaisse, telle qu'on la voit sur la plus grande partie du PC 23, avec les caractéristiques moyennes suivantes :

. la couche supérieure, de 20 à 50 cm d'épaisseur est de teinte brun-foncé à noire. A l'état sec, cette "tourbe résiduelle" tassée a perdu en partie sa structure fibreuse ; elle est alors assez finement structurée, parfois nettement prismatique en-dessous de 20 cm de profondeur ; en surface, cette structure est grumeleuse à grenue ; elle est le siège d'une activité biologique importante des vers de terre (turricules, coprolithes...). Malgré cette structuration, de très fins débris organiques (racines) sont encore visibles. Le matériau est très poreux, friable, à faible densité apparente ; il peut encore aisément brûler. La texture est limoneuse, le "toucher" est gras à l'état humide ; la densité apparente est de l'ordre de 0,8 et la densité réelle de 2, ce qui nous donne une porosité de 60% environ. La teneur en matière organique est supérieure à 20%. Le pH est compris entre 4 et 5 ;

. à la base de la "tourbe résiduelle" supérieure, sur 2 à 10 cm d'épaisseur se trouve le plus souvent un petit horizon ondulé, très friable, composé de cendres de teinte crème, rose ou orangée. Cet horizon résulte d'une combustion de la tourbe. On y trouve quelques fins agrégats nodulaires d'environ 2 mm de diamètre, de couleur orangée, très durs. Il s'agit vraisemblablement de résidus de cuisson de l'argile fine située sous la tourbe.

. sous la tourbe et l'horizon cendreur, entre environ 40 et 70 cm de profondeur, se trouve le matériau intermédiaire, argilo-humique (moins de 20 % de matière organique), où la matière organique bien décomposée (sans débris visibles) est intimement mêlée à l'argile ; cet horizon ressemble à un "anmoor" tel qu'on l'observe dans les sols hydromorphes moyennement organiques (unités 32 et 33). Il possède une structure bien exprimée.

. en profondeur (à partir de 70 cm environ) se trouve le matériau gris minéral, composé d'argile kaolinique, grise, fine, non ou peu tachetée ou de sable quartzieux quasiment pur (non ou très peu micacé).

La tourbe d'origine (semi flottante ou flottante) après 10 à 30 ans d'aménagement et de mise en culture, s'est donc considérablement transformée : tassement, combustion superficielle, combustion lente interne, structuration, activité biologique affectant la tourbe proprement dite, consolidation de l'argile humique sous-jacente par déshydratation... Le tassement de la tourbe est considérable puisque de 2 mètres elle peut se réduire à 30/50 cm ; cependant le pourcentage de tassement n'a pas, en soi une grande signification. Une grande épaisseur de tourbe initiale s'accompagne d'un grand volume d'eau libre interstitielle qui dépend donc du degré de flottage et d'"étirement" des niveaux supérieurs de racines grossières. Autrement dit, la quantité de matière organique susceptible de subir une concentration relative par tassement ne dépend pas de l'épaisseur de la nappe d'eau libre qu'elle contient, cette nappe d'eau libre pouvant d'ailleurs varier pendant l'année.

Après drainage, les niveaux de racines grossières, plaquées et desséchées, sont brûlées, ce qui explique que dans les tourbes résiduelles on ne trouve plus ces éléments organiques grossiers.

Ensuite, il semble qu'il y ait une combustion ménagée, lente et progressive, couvant sous le niveau tourbeux à fins débris, celui-ci étant alors en partie consumé par sa base. C'est cette combustion qui nous paraît être à l'origine de l'horizon cendreux rosâtre de 2 à 10 cm d'épaisseur situé sous la tourbe résiduelle. Un tel "écobuage" interne, cuit les particules argileuses incluses dans la tourbe et donne naissance à des granulés orangés très durs mélangés à la cendre. Il ne semble pas que l'horizon tourbeux de fin débris végétaux puisse subir un tassement très important, la densité apparente étant sensiblement la même avant et après drainage. Ce serait davantage la combustion interne qui serait responsable de la diminution d'épaisseur du sol organique et des ondulations de la surface topographique ; pour cette dernière évolution, il faut aussi penser à la consolidation de l'argile humique sous-jacente antérieurement fluante et saturée d'eau.

Tassement, dessiccation et activité biologique (brassage par la méso-faune) conduisent ainsi à une nette structuration progressive des sols.

En conclusion, il nous semble utile d'insister sur une remarque importante que nous avons d'ailleurs déjà mentionnée dans les pages précédentes : les sols *hydromorphes minéraux*, les *sols hydromorphes moyennement organiques* et les *sols hydromorphes organiques* (tourbes résiduelles), très globalement et grossièrement répartis de la périphérie vers le centre de la cuvette, ne dérivent pas les uns des autres par drainage artificiel ; l'ancienneté, l'intensité, le mode de drainage n'y sont pour rien. On ne doit pas parler à leur sujet de "stades" ("stades" 1, 2, 3 d'évolution) car leur formation s'est passée de façon séparée et naturelle ; leur différenciation était prédéterminée par les positions respectives dans le paysage des matériaux qu'ils affectent. En ce qui concerne l'interprétation de la genèse de ces sols nous ne sommes donc pas d'accord avec les auteurs précédents (en particulier avec J. RQUIER et D. DE SAINT AMAND) qui ont vu dans les degrés d'hydromorphie plus ou moins importants des sols de la cuvette du lac Alaotra, les résultats de l'ancienneté et de l'intensité du drainage artificiel. Certes les sols tourbeux d'origine évoluent beaucoup après drainage, mais nous pensons qu'ils ne constituent pas un "stade" d'évolution vers les sols à "anmoor", de même que ces derniers n'évoluent pas plus vers les sols hydromorphes minéraux. Les sols à "tourbe résiduelle" ont toujours des caractères très distincts des sols à "anmoor" ; bien que différents des "sols" (ou plutôt "matériaux") d'origine, ils conservent néanmoins des caractères tourbeux. Autrement dit le stade "30/50 cm de tourbe résiduelle tassée" constitue un équilibre relativement stable (homéostasie) du nouveau système ; si, plus en amont, on passe à des sols à "anmoor" cela ne signifie pas que ces derniers étaient autrefois des tourbes. Les anmoors se sont formés sans intermédiaire, tout comme les sols hydromorphes minéraux ont eu leur "phylum" propre. Exception doit être faite cependant à cette règle, pour les cas où la tourbe résiduelle a totalement brûlé, laissant à nu le substratum hydromorphe minéral. Ce cas existe sur le PC. 23, dans la zone des "bourrelets" sableux (à l'intérieur de l'unité 36), bombements très légèrement en relief, donc se "desséchant" préférentiellement, induisant ainsi une plus grande combustibilité potentielle de la tourbe.

Ces considérations, longues mais nécessaires, étant faites, nous allons passer en revue les 2 types de milieu composant l'ensemble "zones aménagées et drainées, à tourbe résiduelle peu épaisse", dont la différenciation est basée sur la nature granulométrique du substratum "ferme" sous-jacent à la tourbe résiduelle.

IV. 5. 1. 1. TOURBE SUR MATERIAU A TEXTURE TRES ARGILEUSE (UNITE 35)

Toujours localisée au Sud-Ouest de la cuvette, comme la plupart des tourbes, cette unité de milieu intéresse plus précisément, du Nord au Sud, les "golfs" situés à l'Ouest des presqu'îles de Vositany et Antanjona, et comprenant les zones suivantes :

- . région d'Amparafaravola : "golfe" de l'Nakaka (en partie recouverte par les baibohos déversés par ce cours d'eau)
- . région comprise entre l'avancée d'Ambongalava et celle de Morarano, vaste zone occupée en majeure partie par le PC. 23
- . "golfe" d'Ambodirano (en partie recouvert par les baibohos de la Sahamilahy)
- . "golfe" de Bejofo, totalement enchassé dans des terrasses anciennes très planes et parfaitement conservées. Cette région est occupée essentiellement par le périmètre aménagé de la SORIFEMA.

Du point de vue topographique d'ensemble, rappelons que ces plaines à "tourbe/argile" sont en totale continuité avec les autres plaines (plaines à "tourbe/argile et sable" "glacis-plaines à sols hydromorphes minéraux", "plaines à tourbe récemment drainée"). Une observation superficielle rapide ne permet donc pas de distinguer aisément ces unités de milieu, puisque leurs différenciations sont liées à la nature du matériau minéral (argile, sable, argile sableuse), à la présence ou non de tourbe résiduelle, à l'épaisseur de cette dernière.

Cependant, la topographie de détail donne quelques indications en ce qui concerne la distinction entre "tourbe résiduelle sur argile" (unité 35) et "tourbe résiduelle sur argile et sable imbriqués" (unité 36), spécialement sur le PC. 23 où ces 2 unités sont particulièrement bien représentées ; les matériaux à couches sableuses et argileuses imbriquées sont affectés d'un petit relief à très faibles dénivelées (moins de 1 mètre) dû à la présence d'une multitude de petits défluent fonctionnels anastomosés et se recoupant, balayant le cône fluvio-lacustre de la Sahabe. On a une association de "levées" faiblement surélevées et de lits larges et faiblement encastrés (moins de 50 cm). Les zones à "argile fine" présentent au contraire une topographie régulière, même dans le détail.

Une telle différenciation de modelé de détail, a pour origine la mise en place des matériaux fluvio-lacustres qui s'est passée dans des conditions différentes dans les deux cas mentionnés ; les argiles épaisses indiquent que ces matériaux se sont déposés en milieu calme, peu turbulent ; la décantation fine sous cypéracées était régulière et homogène, non

perturbée par des arrivées brutales de sable ; au contraire les matériaux à sable et argile alternés sont caractéristiques du cône deltaïque de la Sahabe, parcouru par une multitude de petits défluent fonctionnels pouvant changer d'une année à l'autre ; la construction du cône, sa surélévation progressive à partir du substratum de la cuvette lacustre à "zozoro", sa progression vers l'aval, se sont opérées par déversements sporadiques de sable après transits dans les défluent de la Sahabe, alternés avec des périodes de calme à décantation argileuse. Le cône de la Sahabe est activement en construction, alors que les "golfs" et "culs de sac" à l'abri des déversements de ce cône, sans arrivées de grands fleuves semblables, ont été le siège d'une sédimentation argileuse fine, en eau calme. Les turbulences éventuelles de l'eau libre ont été très amorties, sinon annulées, par la présence d'une densité importante de cypéracées et l'accumulation de leurs débris sous forme de "tourbe flottante". Ce filtre végétal n'empêche cependant pas la décantation et la sédimentation des particules argileuses en suspension, pouvant alors de mélanger aux débris organiques les plus fins et former le mélange "organo-minéral" (argile humique) homogène que l'on retrouve actuellement dans les zones drainées sous la tourbe résiduelle. Le "substratum" argileux minéral pur, situé sous ce niveau organo-minéral, est un dépôt lacustre antérieur à l'installation de la végétation de *Cyperus madagascariensis* ("zozoro"), dans des conditions comparables à celles du lac Alaotra actuel ; l'élévation progressive du fond du lac, c'est à dire la réduction d'épaisseur de la nappe d'eau libre, a permis à un moment donné l'installation de la végétation de zozoro, avec dépôts corrélatifs de sédiments argilo-organiques et accumulation de débris végétaux flottants. Nous ne reviendrons pas (voir précédemment) sur l'évolution de la tourbe flottante, lors du brûlis, du drainage et de la mise en culture. Il semble qu'en règle générale, la tourbe résiduelle, après des aménagements d'une ancienneté comparable, soit un peu plus épaisse (40 à 60 cm) au-dessus des matériaux exclusivement argileux (conditions calmes de dépôts) qu'au dessus (30 à 40 cm) des matériaux à "sable et argile" du cône de la Sahabe, dont la surélévation du substratum a été plus rapide que dans les golfs latéraux non touchés par ce type de sédimentation.

Les sols actuels, une trentaine d'années après la "récupération" des marécages à zozoro et à tourbe flottante, dont ils dérivent, présentent les caractéristiques suivantes :

. dans la partie supérieure, la tourbe résiduelle, d'environ 50 cm d'épaisseur, brun foncé à noire, présente en surface une structure souvent grumeleuse, d'origine biologique (nombreux coprolithes et turricules de vers de terre) ; en dessous cette structure prend un aspect prismatique à polyédrique en se desséchant ; les prismes montrent encore une sous-structure "fibreuse" ; à l'état humide, on n'observe pas d'agrégats différenciés ; le "toucher" est alors gras et limoneux et tâche fortement les mains ; le matériau est léger, friable et poreux à l'état sec (porosité de 60% environ) ; il est composé de très fins débris végétaux (racines fines) bien distincts ; lorsque la tourbe résiduelle est gorgée d'eau, elle présente encore une certaine "élasticité" (spongiosité), sensible lorsque l'on marche dessus ; le matériau est combustible. Ce niveau tourbeux résiduel contient 20 à 30% de matière organique, brute (non humifiée), à rapport C/N très élevé (plus de 20). Le pH de cette tourbe est compris entre 4 et 5. La capacité d'échange est de l'ordre de 30-40 méq ; la somme des bases échangeable est d'environ 3-4 méq. Le taux de phosphore assimilable est inférieur à 20 ppm.

. sous la tourbe résiduelle, sur 2 à 10 cm d'épaisseur, s'observe un horizon de teinte blanchâtre, rose ou orangée, composé de cendres résultant de la combustion lente de la base de la tourbe après le drainage de celle-ci. Cette cendre contient des granules très durs (2 à 5 mm de diamètre), orangés, dont l'origine est la cuisson à haute température, en même temps que la base de la tourbe, de l'argile qu'elle contenait. Ce niveau est riche en phosphore total (1000 ppm environ). Sa capacité d'échange est élevée (30 à 40 mé%).

. sous la tourbe et le niveau cendreux, donc commençant vers 50 cm de profondeur, se trouve l'horizon "mixte" à faciès d'anmoor, constitué d'une argile humique, de 30 à 40 cm d'épaisseur. Ce niveau, contenant 5 à 10% de matière organique, sans débris végétaux reconnaissables (bonne humification, rapport C/N de l'ordre de 12) est plastique à l'état humide et présente une structure polyédrique nette à l'état sec, mais une faible porosité. Sa texture est argileuse fine (plus de 60% d'argile). La capacité d'échange est assez élevée (environ 20 mé%), ainsi que la somme des bases échangeables (environ 10 mé%), ces propriétés étant dues à la relative richesse en matière organique du matériau. La teneur en phosphore assimilable est assez élevée (100 à 400 ppm).

. le matériau argileux minéral commence vers 75 cm de profondeur. L'argile gleyifiée, de nature exclusivement kaolinique est de teinte grise (sombre à l'état humide, claire à l'état sec), homogène, sans taches, ou seulement à taches brunes ou jaunâtres très peu contrastées. La teneur en argile granulométrique est toujours très élevée (plus de 60%, parfois 90%). Il y a moins de 6% de sables et peu de limon (moins de 15%). La capacité d'échange est comprise entre 10 et 20 mé% ; la somme des bases échangeables est de l'ordre de 6 à 10 mé%. Le pH est de l'ordre de 5,2. La capacité de rétention en "eau utile" (humidité pondérale à pF. 3 diminuée de l'humidité pondérale à pF. 4,2) est comprise entre 10 et 15%.

Le régime hydrologique affectant ces matériaux et sols, pour être compris, doit être replacé dans le contexte de "l'hydro-séquence" d'ensemble de la cuvette qui, des sols hydromorphes minéraux en position périphérique amont, affecte, en "descendant" vers le centre, les sols tourbeux dont la formation elle-même est conditionnée par le régime hydrologique. A l'origine, (avant aménagements), la surface piézométrique est d'autant plus proche de la surface pour finalement être au-dessus du substratum et le recouvrir d'une lame d'eau d'autant plus épaisse, que l'on "descend" vers le centre de la cuvette. Les "zozoro" et les tourbes flottantes qui leurs sont associées correspondent à l'inondation permanente due à cette nappe phréatique générale et dont l'épaisseur de la lame d'eau peut aller jusqu'à 2 mètres. Au-delà de cette profondeur, les "zozoro" disparaissent et la nappe d'eau complètement libre forme alors le lac Alaotra. On peut donc dire que le lac Alaotra constitue le niveau de base terminal, le plus bas, de la nappe phréatique générale logée, en continuité et d'amont en aval, d'abord dans les altérites en place des versants, puis dans les "altérites fluées" des "glacis-plaines" périphériques à la cuvette, puis enfin dans les alluvions fluvio-lacustres proprement dites. L'action différentielle de ces nappes sur les matériaux, a engendré des "faciès" d'hydromorphie variable, entre le pôle minéral (moins de 6% de matière organique) en amont jusqu'au pôle organique à tourbe flottante en aval. Rappelons une fois encore que l'organisation des matériaux de la cuvette de l'Alaotra obéit également à une répartition ordonnée d'amont en aval,

et que cette loi de répartition a elle-même été conditionnée par la dynamique des nappes phréatiques qui a redistribué les altérites des "reliefs pourris" préexistants, après déstabilisation de ceux-ci par la dynamique de ces mêmes nappes des suites de leur drainage naturel lié à l'ouverture du seuil du Maningory, donc en définitive commandée par la structure géologique locale. Une cause ponctuelle très localisée qui peut paraître insignifiante est donc source du déploiement d'une organisation spatio-temporelle du milieu naturel, extrêmement riche en amont, affectant aussi bien les formes hydrologiques et les sols. Cet ordonnancement, déclenché par le creusement du seuil, fortement structuré en unités de milieux interdépendantes, est le résultat de "logiques internes" successives du système mises en oeuvre à chaque fois qu'une "crise" (creusement rapide du seuil) perturbe l'équilibre antérieur de ce système. Ces différentes "logiques" sont caractérisées par des dialectiques à modalités spécifiques entre de multiples processus en interactions et rétroactions ; ces processus ont une dynamique résultante globale de direction centrifuge (recul et "fonte" des versants par exemple) mais les agents causaux moteurs (nappe phréatique) ont eux, des flux centripètes.

Si on veut le comprendre, on ne doit donc pas étudier séparément le régime hydrologique, qui est en combinaison et en interdépendance étroite avec le type de matériau considéré, le sol qui le surmonte et la position du site dans le paysage.

Pour en revenir concrètement au régime hydrologique de notre "unité 35", il nous faut distinguer le *régime avant aménagement* et le *régime après aménagement* qui caractérise actuellement et partout cette unité.

- *Avant aménagement* : une nappe d'eau libre permanente recouvrait le "substratum" fluvio-lacustre sur une épaisseur pouvant atteindre 2 mètres à l'extrême aval. Cette nappe d'eau correspondait à l'affleurement de la nappe phréatique générale ; elle était traversée et surmontée par une végétation dense de papyrus (*Cyperus Madagascariensis*, "zozoro"). Saisonnièrement le plan d'eau devait subir probablement quelques fluctuations verticales et latérales ; par rapport aux fluctuations du lac Alaotra central, elles étaient cependant très amorties du fait de la résistance opposée par les zozoro et la tourbe flottante (ou entre 2 eaux) issue de leurs débris sur laquelle ils se développaient. En raison de cette inertie il est possible, sinon probable, que la surface du plan d'eau, bien qu'en continuité avec celle du lac proprement dit, ait été en position topographique surélevée par rapport à ce dernier (748 mètres sur la carte topographique IGN au 1/50 000). Seule cette situation a permis à notre avis le drainage artificiel de ces marécages, et explique que ce drainage devienne de plus en plus difficile au fur et à mesure que l'on progresse vers l'intérieur de la cuvette ; actuellement l'extrême limite du drainage possible semble avoir été atteinte, du moins pour les parties, comme l'unité 35, situées à l'écart de l'influence du cône d'alluvionnement relativement rapide de la Sahabe. Les grands drains qui rentrent dans les zozoro actuels (zones non aménagées) et même avant qu'ils y rentrent (zones récemment aménagées, unité 37) ne sont plus creusés dans le substratum minéral fluvio-lacustre mais ont simplement raclé linéairement la végétation de cypéracées et sa tourbe flottante ; le drainage n'y est d'ailleurs pas efficace puisque le plan d'eau ne peut plus s'évacuer vers l'aval, la surface topographique devenant trop proche de celle du lac actuel central. Il nous semble même,

ce qui peut paraître paradoxal, que plus on brûlera les "zozoro" et la tourbe, en aval, en essayant de la drainer, plus on diminuera corrélativement les "résistances" naturelles qu'opérait cette végétation et ces débris organiques vis à vis des variations saisonnières du lac ; autrement dit l'effet tampon constitué par cet "anneau de garde", qui, jusqu'à maintenant, protégeait les zones aménagées des fluctuations intempestives de la lame d'eau libre, jouera de moins en moins ce rôle ; le plan d'eau dans les rizières récupérées sur les tourbes risque alors d'être de plus en plus difficile à contrôler. En plus de cela et ce qui aggrave les choses la récupération et le drainage centripète des tourbes s'accompagnent d'un abaissement de leur surface topographique, jouant alors en faveur de l'envahissement régressif (centrifuge) par les eaux d'aval en amont et non, comme on l'imagine et l'espère, en faveur du recul de ces eaux d'amont vers l'aval. Cette invasion pourra s'accompagner du retrait corrélatif des eaux du lac ailleurs, en particulier sur les zones sans cypéracées, par exemple en bordure aval du cône de l'Anony. Actuellement, il nous semble donc illusoire, sinon dangereux de tenter de drainer davantage les zones à "zozoro" et de les transformer en rizières. On est arrivé à l'extrême limite et à notre avis on l'a même localement dépassée. Tous les travaux de "drainage" en périphérie de la cuvette lacustre, ne peuvent avoir pour résultat que de redistribuer l'eau dans cette cuvette, et non pas de l'éliminer définitivement, ce qui serait du seul ressort du seuil du Maningory. Il n'y a en effet aucune raison pour que le drainage sur le PC. 15, le PC. 23 ou sur l'Anony accélère le débit de vidange du lac par le Maningory (cela pourrait bien être l'inverse) !). Du point de vue mouvement des eaux, la cuvette lacustre peut être considérée à ce titre comme un système complexe en équilibre hydrologique "dynamique", où les apports convergents d'eau (nappes et eaux de surface) par la périphérie sont équilibrés par les flux de sorties au niveau du seuil du Maningory. Autrement dit, un avantage artificiel acquis localement pourra se payer par une détérioration imprévue, sous l'angle de l'utilisation rizicole, du régime hydrologique en d'autres endroits.

- *Après aménagements*, c'est à dire actuellement, 10 à 30 ans suivant les endroits après les travaux de drainage ; le brûlis des tourbes et zozoro, et les premières cultures de riz , le régime hydrologique peut s'évaluer de la façon suivante :

. *en saison sèche*, les drains ont rabattu la nappe phréatique, dont le sommet était autrefois en permanence au-dessus du substratum et inondait l'ensemble. Actuellement, cette nappe est située entre 1 et 2 mètres sous la surface en fin de saison sèche ; elle n'affecte plus la tourbe résiduelle mais uniquement le matériau alluvial minéral (argile fine et sable grossier sous-jacent). La tourbe n'est donc plus dans les conditions de milieu antérieures et subit actuellement une évolution par oxydation, tassement et activité biologique. Le niveau tourbeux résiduel (50 cm d'épaisseur en moyenne) conserve cependant en saison sèche une bonne humidité ; il ne se dessèche jamais complètement. *D'une part*, le niveau d'eau libre saturante, ici, relativement proche de la surface (par rapport aux autres unités des plaines) et *d'autre part*, l'effet "mulch" que constitue le niveau tourbeux (réduisant l'évaporation), concourent à l'entretien d'une remontée capillaire permanente et à la conservation de l'humidité. C'est le côté favorable, pour les culture de contre-saison, des sols à tourbe résiduelle. Il est probable cependant que cette ascension capillaire

n'a pas partout le même débit, ceci pour 3 raisons essentielles. D'une part, la profondeur de la nappe est davantage rabattue en bordure des mailles qu'en leur centre, d'autre part cette même nappe est plus proche en aval qu'en amont des plaines. Enfin, un facteur important qui intervient est la variation de l'épaisseur de l'argile fine au-dessus de la "semelle sableuse" (celle-ci étant généralisée sous argile) où est essentiellement logée la nappe en saison sèche et d'où part donc l'alimentation capillaire. Plus l'argile est épaisse, moins le flux capillaire atteignant le "mulch tourbeux" supérieur est important. La frange capillaire dans de telles argiles fines peu poreuses peut être épaisse mais n'intéresser que très peu d'eau accessible aux racines (dans un sable c'est l'inverse qui se passe). Ces 3 raisons (indépendantes entre elles) susceptibles de perturber la remontée d'un flux capillaire régulier et suffisant pour la plante, peuvent se combiner. Il faut donc s'attendre à observer une certaine irrégularité d'alimentation hydrique des éventuelles cultures de contre-saison (blé compris). Les zones les plus favorables du point de vue du régime hydrique seront situées en aval, au centre des parcelles, casiers et mailles. Quant aux ondulations que présentent la limite argile-sable (donc l'épaisseur de cette argile) elles sont imprévisibles, et ne peuvent être cartographiées que par une étude extrêmement détaillée à observations très serrées et nécessitant un travail d'interpolation.

. en saison des pluies, la nappe phréatique se situe sous la surface. En fait, dans les rizières, les amenées d'eau par les canaux d'irrigation ont pour rôle de régulariser la nappe d'eau des rizières. Cette nappe d'eau superficielle est "enracinée" en une nappe perchée, logée dans la tourbe et reposant sur l'argile fine sous-jacente. Le sommet de la véritable nappe phréatique profonde, écrêtée par le drainage doit probablement se situer dans le substratum minéral. Au centre des parcelles, surtout en aval des plaines, elle est en continuité avec la nappe perchée alimentée par l'irrigation.

Les conclusions concernant l'aptitude agricole des plaines "à tourbe résiduelle peu épaisse sur argile fine" sont les suivantes :

. en saison des pluies, la seule production possible est évidemment le riz, en particulier la riziculture aquatique (puisque les aménagements sont prévus pour ce type de culture), bien que la riziculture pluviale (donc sans irrigation) y soit également parfaitement possible. Sur ces aménagements relativement anciens et sur ce substratum argileux, le planage des casiers rizicoles est bien assuré et se maintient. En effet, la tourbe est actuellement assez bien tassée et stabilisée pour ne plus occasionner des dénivellations intempestives, préjudiciables au maintien d'une lame d'eau régulière ; il s'agit donc d'un caractère favorable méritant d'être mentionné ; nous verrons au contraire que sur les tourbes encore épaisses car drainées plus récemment (voir unité 37), la topographie est encore irrégulière car la tourbe n'est pas encore bien rassise ; une autre source d'irrégularité topographique que l'on n'observe pas ici, mais qui sera présente sur le cône de la Sahabe (unité 36) proviendra de la dynamique fluviatile à multiples bourrelets et chenaux imbriqués. Les conditions les moins favorables de ce point de vue seront donc les tourbes récemment drainées en aval du cône de la Sahabe.

Un autre caractère favorable notable de l'unité 35, à substratum argileux épais, comparée à l'unité 36 voisine (cône de la Sahabe à sable peu profond fréquent) est qu'ici, *le maintien homogène de l'eau d'irrigation* dans les casiers est correct, ne s'infiltré pas et ne nécessite donc pas des renouvellements fréquents.

. en saison sèche (contre-saison), nous avons vu que le régime hydrique était ici relativement intéressant puisque la nappe phréatique se maintenait à moins de 2 mètres de profondeur et que la tourbe, jouant le rôle de mulch réduisant l'ETP, permet à la remontée capillaire d'atteindre la surface pratiquement sans interruption . Ce caractère très favorable est cependant à moduler, nous l'avons vu, par les irrégularités de débits de ce flux remontant. En ce qui concerne le blé sans irrigation, sans prendre trop de risques, nous pouvons affirmer pratiquement que du point de vue alimentation hydrique, cette culture peut être envisagée dans les moitiés aval des zones tourbeuses ; dans les moitiés amont les chances de succès sont moins grandes. La limite entre ces 2 zones de "probabilité de réussite" est évidemment floue. Elle pourra être précisée ultérieurement par un suivi au champ de l'évolution de l'humidité du sol et de la position de la nappe phréatique tout au long de la saison sèche. On peut considérer comme hypothèse de travail (argumentée par une étude récente sur les rizières des Hauts Plateaux), que, pour une tourbe de 40 cm d'épaisseur, la nappe devra se situer à moins de 150 cm de profondeur en fin de saison sèche (Octobre) pour qu'auparavant, pendant la croissance du blé, la remontée capillaire puisse assurer son alimentation hydrique correcte. Une tourbe moins épaisse demandera une nappe plus proche de la surface ; l'inverse sera vrai pour une tourbe plus épaisse (mais stabilisée). Pour le régime de capillarité, un facteur aléatoire d'irrégularité pour lequel aucune "prévision" spatiale ne peut être faite au niveau de précision de notre étude, concerne la variation d'épaisseur de la couche argileuse au-dessus du niveau sableux.

Si l'alimentation hydrique du blé est donc susceptible de se faire dans d'assez bonnes conditions, son *alimentation minérale* par contre risque d'être perturbée. Nous pensons essentiellement à l'alimentation azotée. Les longues conditions réductrices (engorgement total) maintenues dans les rizières submergées maintiennent l'azote sous forme ammoniacale. Sa réoxydation après la récolte du riz ne peut se faire correctement ; la tourbe et l'absence de microorganismes nitrifiants entretiennent et prolongent ces conditions réductrices pendant la saison sèche. Le blé souffre alors d'une carence en azote nitrique assimilable. Dans les rizières des Hauts-Plateaux où les conditions sont comparables on a démontré que l'apport de fumier sec ("poudrette") sur les sols organiques avait un effet très positif sur les rendements ; cette action est interprétée par le rôle d'ensemencement et de catalyse microbienne du fumier. Il s'agit donc d'un problème agronomique qui peut techniquement être résolu.

En conclusion, les zones tourbeuses anciennement drainées, à substratum argileux épais, présentent a priori une aptitude moyenne pour le blé de contre-saison sans irrigation. C'est en tout cas dans cette zone (mis à part certains "baibohos", qui peuvent être plus intéressants, voir unité 46) que l'on peut espérer les meilleurs résultats en tout cas pour l'alimentation hydrique, qui est la condition préalable indispensable ; à condition toutefois que les problèmes agronomiques soient résolus : fertilisation adéquate, amendements organiques, travail du sol, drainage

suffisamment tôt des rizières, semis précoce, compatibilité avec le cycle du riz, compatibilité avec la pratique actuelle du séchage et du battage du riz, compatibilité avec l'élevage (problème du pâturage en saison sèche) etc... L'introduction "en grand" du blé en saison sèche demandera un remaniement assez important des systèmes agraires et socio-économiques tels qu'ils existent actuellement. Est-ce possible et réaliste ? C'est une question que nous posons et pour laquelle nous n'avons pas les éléments de réponse. D'un autre côté l'utilisation de la saison sèche pour un cycle cultural partout où l'eau (naturelle ou d'irrigation) est disponible, peut être une condition de rentabilisation économique des aménagements. Les obstacles à cette entreprise sont autant à rechercher dans les systèmes de culture actuels que dans le milieu physique.

IV. 5. 1. 2. TOURBE SUR MATERIAU A TEXTURE HETEROGENE : SABLE OU ARGILE (UNITE 36)

Nous sommes ici sur le vaste cône fluvio-lacustre de la Sahabe, sur lequel est aménagé une grande partie du PC. 23. Ce type de milieu, génétiquement et morphologiquement proche de l'ensemble précédent (unité 35), en diffère cependant sensiblement par un certain nombre de modalités ayant trait au modèle de détail, au matériau (mise en place et nature), aux sols, aux régimes hydrologiques et hydriques, donc en définitive à l'aptitude agricole puisque toutes ces caractéristiques sont sources de contraintes et facteurs favorables spécifiques. Ces composantes sont naturellement intimement en interdépendances, ce qui assure la cohérence et l'unité du type de milieu considéré dans sa globalité, à ce niveau de perception.

- La topographie de détail est ici le résultat du mode particulier de mise en place des matériaux lors de la construction terminale et contemporaine (avant aménagements) du cône, en progression sur la nappe d'eau libre à "zozoro". La surface du cône n'est pas parfaitement plane et régulière. On y voit une imbrication de bourrelets bombés sinueux peu surélevés (moins de 1 mètre de dénivellation) et de lits plats, relativement larges (10 à 50 mètres) comparés à leur faible encaissement (moins de 50 cm). Les bourrelets font de nombreux méandres qui se recoupent ; ils représentent d'anciens axes d'écoulement qui se sont surélevés progressivement sur leurs propres alluvions de débordements, jusqu'à finalement se colmater complètement et disparaître par perte de compétence terminale des eaux, et laisser ainsi la place aux bourrelets de réhaussement sans plus trace de chenal central. Les eaux, antérieurement canalisées, s'étaient alors, avant de se reconcentrer en nouveaux chenaux, voisins des bourrelets qu'elles viennent de quitter. Ainsi fonctionnait (avant aménagement) le système hydrologique et sédimentologique des multiples défluent qui divergent à partir de la pointe du cône d'épandage, pour "balayer" spatio-temporellement ce cône et le surélever insensiblement. La pente longitudinale radiale du cône (selon ses génératrices) est très faible, de l'ordre de 0,5‰. Cela explique qu'au débouché des reliefs qui la canalisent, la Sahabe, après une première décharge au niveau des marais de Maharivana (en amont du cône proprement dit), perde sa compétence de transport et d'incision et se dissipe en d'innombrables chenaux à fonds plats très peu enfoncés. Avant

aménagements et surtout avant endiguement du bras principal de la Sahabe, tous ces défluent étaient activement fonctionnels dans la construction du cône. Celui-ci était alors le lieu de *transit* des eaux et des sédiments, de leur *débordement* et de leur *étalement*, de la *construction de bourrelets*, de *changement de lits* des défluent d'une année à l'autre, de dépôts à travers le filtre à "zozoro", de *sables et d'argiles alternés*, triés en fonction de la compétence et de la turbulence des eaux.

- La nature des matériaux est le résultat d'un tri granulométrique opéré par les eaux de surface, lors de leur épandage sur le cône en construction, à partir des sédiments apportés et déversés par la Sahabe, en provenance de son bassin versant. Ce tri s'est fait suivant une dynamique sensiblement différente de celle qui a présidé à la formation du cône de l'Anony (voir précédemment). Ici, la progression vers l'aval ne s'est pas faite comme pour l'Anony, à partir de "cordons littoraux" sableux successifs, perpendiculaires aux génératrices du cône, mais par *déversements sableux terminaux étalés en larges langues*, aux débouchés des défluent principaux qui, avant d'arriver dans la nappe lacustre à "zozoro", canalisent ces sables. Ceux-ci constituent donc la "semelle basale" par laquelle commence la formation du cône. Les sédiments argileux et sableux sub-aériens et d'origine plus strictement fluviale cette fois recouvrent par la suite les sables précédemment déversés qui colonisent le milieu lacustre. Ces langues sableuses fluviolacustres pionnières sont conformes cette fois aux génératrices du cône, car non reprises par les fluctuations et courants lacustres comme c'était le cas pour l'Anony. L'explication fondamentale de la différence de dynamiques de sédimentation sableuse sur l'Anony et sur la Sahabe tient au fait suivant : l'Anony progresse directement dans le lac proprement dit sans interposition de marécages à cyperus ("Zozoro") et les sables déversés peuvent ainsi être repris par les courants à fluctuations saisonnières de ce lac et être redéposés en cordons parallèles au "rivage". Pour la Sahabe au contraire, la progression de la construction du cône en aval, se passe dans une nappe d'eau lacustre occupée (car moins profonde) par une végétation très dense de cypéracées ; celles-ci amortissent ou annihilent la dynamique lacustre ; les sables déversés par les défluent deltaïques du fleuve ne peuvent donc pas être redistribués en cordons perpendiculaires aux apports.

Au-dessus des sables qui forment le substratum commun du cône, premier matériau deltaïque, se sont empilés des sédiments alternativement argileux et sableux découlant d'une dynamique de moins en moins "profonde" (diminution de l'épaisseur de la nappe lacustre) donc de plus en plus fluviale, mais avec une turbulence tempérée par le filtre à "zozoro". Il s'est créé alors le relief de détail mentionné précédemment (bourrelets, chenaux plats, cuvettes) en fonction duquel les sédiments se sont ordonnés et triés : sable sur les bourrelets, argile dans les lits et cuvettes. La dynamique "balayante" et la faible pente du cône ont fait que ces dépôts se sont imbriqués latéralement et recouverts verticalement ; induisant une grande hétérogénéité granulométrique ; ainsi, les couches changent d'épaisseur et de profondeur latéralement, sur de faibles distances. On peut passer très rapidement, à moins de 100 mètres d'intervalle, d'une argile fine épaisse de plus de 1 mètre, comparable au matériau argileux épais de l'unité précédente (unité 35), à une argile très peu épaisse reposant sur du sable

pur, puis un peu plus loin à ce même sable pur dès la surface. Cette *hétérogénéité texturale* caractérise le matériau du cône de la Sahabe et la différencie de l'unité 35 précédente. Il faut noter qu'une telle hétérogénéité ne concerne que l'épaisseur et la profondeur des strates, mais pas les textures de ces couches qui ne comportent que les 2 pôles opposés : *d'une part sable pur* (sable "moyen" surtout) de couleur beige clair, quasi exclusivement quartzeux mais localement avec de très fines paillettes de mica, et *d'autre part argile très fine* (70 à 80% de particules de taille 0-2 μ), de nature kaolinique très homogène, de teinte grise uniforme (gley) ou très faiblement tachetée (jaunâtre peu contrasté) ; il y a très peu de strates à texture "intermédiaire" (c'est à dire à sable et argile mélangés, sans tri) ; c'est une particularité des couches alluviales de la région ; les argiles sableuses par contre, nous l'avons vu, ont pour origine le fluage et l'étalement des altérites sans transport alluvial.

Concernant les sols proprement dits, nous parlerons maintenant surtout de l'épaisseur du "*niveau tourbeux résiduel*" qui surmonte les couches alluviales argileuses et sableuses. Les zones anciennement aménagées du cône présentent une couche tourbeuse de 30 à 40 cm d'épaisseur, donc en moyenne moins épaisse que sur les alluvions à argile fine épaisse situées en position latérale par rapport à ce cône proprement dit (unité 35). La genèse et l'évolution, après aménagement de ces tourbes, sont globalement comparables à celles qui ont été décrites pour cette dernière unité, et nous y renvoyons donc le lecteur. Nous voudrions insister ici sur les différences de détail dans les conditions de formation de ces tourbes qui expliquent une plus grande variabilité d'épaisseur sur le cône qu'en dehors du cône.

Dans certaines zones du PC. 23, spécialement sur certains gros bourrelets sableux, la tourbe est actuellement inexistante ; ces zones "sèches" sont d'ailleurs souvent non utilisées pour la riziculture. L'absence de tourbe dans ces sites particuliers nous paraît pouvoir être expliquée par l'hypothèse suivante : ces levées sableuses, surélevées par rapport à la topographie moyenne environnante, constituaient, avant aménagements, des hauts-fonds, sub-affleurant ou émergeant au-dessus de la nappe d'eau libre. Dans ces conditions de milieu, il n'y avait donc pas de tourbe flottante, et les "zozoro" moins denses ou bien remplacés par d'autres cypéracées, n'ont donné naissance qu'à une tourbe peu épaisse, celle-ci pouvant même avoir été inexistante ; le drainage et le brûlage postérieur auraient alors éliminé très vite cette tourbe, encore moins épaisse qu'ailleurs une fois tassée, et plus facilement combustible en totalité du fait d'un dessèchement plus rapide du matériau drainé sur ces levées sableuses hautes. En tout cas il est certain que ces zones sont actuellement beaucoup plus sèches qu'ailleurs ; le sable, en position "haute", est, en saison sèche, pris en masse, compact, infranchissable à la tarière ; il est occupé par une lande à chiendent ; les feux de saison sèche qui parcourent encore localement le PC. 23 (brûlis des chaumes ou du "bozaka" et par la même occasion d'une partie de la tourbe résiduelle) nous ont montré sur certaines photos aériennes prises en 1975 que le feu se propageait de façon privilégiée et souvent exclusive sur les bourrelets sableux les plus surélevés, c'est à dire où l'herbe était la plus desséchée et la nappe la plus profonde ; les cendres noires "révèlent" alors sur ces photos

le tracé exact (avec leurs méandres), de ces bourrelets imbriqués, beaucoup mieux qu'en essayant de les suivre et de les reconstituer, sur le terrain ou sur les photos des zones voisines non brûlées à l'époque de prise de vue. Ces constatations sont importantes et significatives car elles permettent, associées aux autres observations, les déductions suivantes : sur le cône fluvio-deltaïque de la Sahabe les conditions de formation de la tourbe, l'épaisseur originelle de celle-ci et les modalités de son évolution pendant et après aménagement, ont obéi probablement à la même variabilité et suivi les mêmes lois de répartition complexe que les multiples micro-formes alluviales et les matériaux à texture très variable qui les composent et qui leurs sont assez étroitement associés. Pendant la surélévation du cône, le modelé de détail, la granulométrie des alluvions déposées et l'épaisseur de la tourbe qui les recouvrait n'ont pas été commandés par des processus indépendants ; en général les bourrelets les plus surélevés sont sableux et à tourbe moins épaisse qu'ailleurs ; les cuvettes séparées par cette intrication de levées sont occupées par des alluvions terminales argileuses et où la tourbe est un peu plus épaisse. Cette répartition est d'autant plus nette et repérable dans le paysage (avec un certain entraînement toutefois) d'après "l'état de surface", que l'on se trouve à l'amont du cône. En aval, les pentes générales diminuant (horizontalité quasi-parfaite), les formes alluviales sont alors moins caractérisées, plus discrètes, à plus faibles dénivellations, et moins nettement corrélées à telle ou telle granulométrie. Les strates alluviales sont toujours bien triées et tranchées mais la logique de leur répartition spatiale est moins évidente et compréhensible qu'en amont. Cette désorganisation des formes et matériaux est liée à la perte de "compétence" des eaux dans ces conditions aval, plus strictement fluvio-deltaïques. Les bourrelets se réduisent à de fins diverticules, deviennent moins surélevés et plus nombreux ; ils ne sont alors pas forcément sableux en surface ; entre ces levées on peut par contre trouver de larges langues d'épandages sableux déversés après que les sédiments aient quitté les chenaux peu encaissés. Il s'ensuit que la tourbe est plus "homogène" en épaisseur en aval qu'en amont où les conditions de sa formation étaient plus différenciées expliquant ainsi une meilleure organisation spatiale. Ainsi, nous n'avons observé des zones sans tourbes, soient qu'elles aient été inexistantes dès l'origine, soient qu'elles aient brûlé préférentiellement, que dans la moitié amont du cône de la Sahabe et exclusivement sur les larges et relativement "hauts" bourrelets sableux. Par contre dans ces mêmes zones, les cuvettes ont des tourbes résiduelles toujours légèrement plus épaisses, sans toutefois que cette épaisseur s'écarte de la classe 30-50 cm. Dans les positions intermédiaires on peut descendre en-dessous de 30 cm.

Du point de vue plus strictement pédologique, le "profil", en plus de l'épaisseur variable de la tourbe, montre donc également une assez grande variabilité verticale et latérale en ce qui concerne la texture d'ensemble du matériau, les épaisseurs et profondeurs des strates alluviales argileuses fines ou sableuses pures qui le composent. Lorsque la tourbe résiduelle repose directement sur de l'argile (grise gleyifiée, homogène kaolinique), on observe comme pour les sols de l'unité 35 précédente, un horizon intermédiaire gris foncé "d'argile humique" (5 à 10% de matière organique).

Entre la tourbe et cet horizon d'argile humique s'observe le même liseré ou niveau cendré (5 à 15 cm d'épaisseur) de couleur rose, à granules orangés d'argile cuite à haute température, que nous avons décrit pour les sols précédents.

Le régime hydrologique est ici, dans sa globalité, sensiblement différent de celui qui caractérise l'unité 35 précédente, ceci pour plusieurs raisons : dynamique sédimentologique active et non plus calme, topographie de détail variable et non plus homogène, matériaux alluviaux à nombreuses lentilles sableuses et non plus exclusivement et partout argileuse, épaisseur tourbeuse moins importante. L'ensemble de ces composantes, corrélées dans leurs modalités, spécifient les caractéristiques hydrologiques et hydriques ayant existé avant aménagement et existant actuellement :

- avant aménagement : une dense population de *Cyperus madagascariensis* ("zozoro") colonisait les marécages permanents qui couvraient le cône fluvio-deltaïque. On peut supposer qu'il y avait une inondation par une lame d'eau libre, dont l'épaisseur variait entre 50 cm (amont) et 2 mètres (aval) ; cette lame d'eau était probablement fluctuante pendant l'année en fonction d'une part des arrivées d'eau en provenance de la Sahabe, d'autre part des fluctuations de la nappe lacustre en continuité aval, ayant tendance à remonter en hivernage. Cette eau superficielle était en continuité avec la nappe phréatique logée dans les alluvions. La Sahabe, à la pointe du cône (à peu près au niveau d'Ambositromby) se dispersait en de multiples défluent divergents qui répartissaient les arrivées d'eau suivant des flux préférentiels canalisés, relativement bien en amont, de moins en moins nettement vers l'aval où ils s'épandaient, perdaient leurs turbulences et déversaient leurs sédiments sableux ayant transité au fond des chenaux. Auparavant, une partie des sédiments s'était déposée, ordonnée et triée en milieu aquatique permanent ; par débordements de part et d'autre des axes d'écoulement, avec formation d'un modelé "submergé" ou "sub-affleurant" de bourrelets sableux et cuvettes argileuses imbriquées. L'aval du cône était typiquement deltaïque, l'amont était plus précisément alluvial, à dynamique et formes mieux organisées, à nappe d'eau moins épaisse et localement à peine affleurante en saison sèche sur les bourrelets. Cette dynamique sédimentologique et hydrologique s'est passée au travers le filtre ralentisseur et amortisseur que formaient les tiges et racines sous-aquatiques des "zozoro" ; les dépôts sableux turbulents et argileux calmes traversaient le lacs de tourbe semi-flottante (décollements interannuels de faible amplitude), pour se déposer au fond, en mélange à de fins débris organiques, formant ainsi l'argile humique que l'on observe actuellement entre la tourbe résiduelle et les alluvions strictement minérales. Ces dernières sont le résultat de dépôts antérieurs, à une époque où le cône deltaïque était moins avancé (conditions semblables à ce qui se passe actuellement en aval de l'extrémité aménagée du cône, vers le lac Alaotra) ; l'épaisseur d'eau était alors plus importante, la tourbe franchement flottante très peu évoluée et très peu fragmentée, en position plus haute, libérant ainsi moins de particules organiques susceptibles de sédimenter au fond.

- 10 à 30 ans après le début des aménagements, beaucoup de choses ont changé : les eaux de la Sahabe sont maintenant contenues entre 2 digues de protection parallèles, d'une douzaine de kilomètres de long, qui démarrent à la pointe du cône (près d'Ambohitromby et d'Antandrokomby), c'est à dire avant la dispersion de ce fleuve en ses multiples défluent ; le double endiguement capte ainsi la totalité des eaux de surface en provenance du bassin amont. Ces deux digues délimitent une bande marécageuse et tourbeuse de 2 km de large où se concentre et se limite la dynamique hydrologique de la Sahabe qui autrefois s'épanouissait sur le cône qu'elle balayait. D'autre part, ce cône est quadrillé par un réseau de drainage, à drains primaires et secondaires, doublés en position plus hautes d'irrigateurs qui ont pour rôle de maintenir dans les casiers rizicoles une nappe d'eau homogène. Les prises d'eau principales sont branchées sur la Sahabe même et sur la Sahamilahy, cours d'eau débouchant un peu plus au Nord et déverseur actif de "baibohos" (problèmes de comblement de l'aménagement).

Le drainage et les digues de protection ont contribué à évacuer la lame d'eau d'inondation, à abaisser sensiblement la nappe phréatique, à tasser la tourbe, à révéler et à mettre en relief le modelé alluvial autrefois semi-aquatique ; celui-ci n'est quasiment plus fonctionnel, son alimentation amont ayant été coupée.

La tourbe brute (résidus végétaux non évolués) et les zozoro ont été brûlés ; le cône de déjection a été cloisonné par les mailles du réseau, les rizières ont été planées et séparées par des diguettes. Le planage a été délicat et est encore souvent imparfait, surtout dans la moitié amont du cône, où le modelé alluvial est le plus marqué. Les gouttières des principaux défluent n'ont pas été aménagées, ainsi que les bourrelets principaux, trop hauts et sableux.

. en saison des pluies, la nappe phréatique est maintenue sous la surface, à une profondeur variable, fonction de la position et de l'épaisseur des couches sableuses drainantes, de l'éloignement du site par rapport aux drains principaux. D'autre part, le réseau d'irrigation alimente une nappe perchée qui inonde les rizières sur 20-25 cm ; cette nappe se prolonge dans le niveau tourbeux, puis elle s'écoule plus ou moins vite et sature le matériau alluvial sous-jacent. Lorsque celui-ci est argileux dès la surface, l'eau se maintient bien ; lorsque le sable est peu profond ou superficiel, l'infiltration est rapide et une réalimentation fréquente oblige donc à une grosse consommation d'eau d'irrigation. Cet inconvénient subsiste si la parcelle élémentaire n'est pas homogène, à passages latéraux superficiels d'argile et de sable, ce qui est un cas fréquent. De ce point de vue, cette partie du PC. 23 située sur le cône de la Sahabe est caractérisée par une hétérogénéité du régime de submersion artificielle, liée à la présence fréquente (et imprévisible a priori en dehors des bourrelets visibles) de lentilles sableuses à faible profondeur.

. en saison sèche, les rizières s'assèchent progressivement ; la nappe perchée de submersion artificielle s'évapore, percole verticalement ou s'évacue latéralement après ouverture des diguettes. En fin de saison sèche, la nappe phréatique, autant que nous ayons pu l'apprécier, descend vers 2 mètres de profondeur, parfois plus sous les bourrelets sableux. Dans le quart aval du cône elle est située entre 1 et 2 mètres. Ces conditions

sont relativement favorables à l'alimentation de la tourbe par un flux capillaire, d'autant plus que l'effet "mulch" de cette tourbe limite l'ETP ; effectivement la tourbe reste humide pendant la majeure partie de la saison sèche sauf lorsque le sable est à faible profondeur entre la surface et le toit de la nappe, auquel cas il y a rupture de l'ascension capillaire et dessèchement superficiel rapide (dans ces conditions d'ailleurs la tourbe est moins épaisse et a localement brûlé totalement). Le "régime de capillarité" est donc sujet à une grande variabilité spatiale liée à la même variabilité des matériaux et des modelés alluviaux.

Les conclusions que nous pouvons tirer de ces propriétés hydro-morpho-pédologiques, sur les aptitudes agricoles sont donc les suivantes :

. *les cultures pluviales autres que le riz* sont évidemment à exclure (hydromorphie excessive, troubles de l'alimentation minérale), sauf très localement, sur les levées qui sont actuellement mieux drainées ; on y voit d'ailleurs quelquefois du manioc ou du bananier. Bien que ces périmètres aient été créés pour la riziculture irriguée et inondée, le *riz pluvial assisté par la nappe* est également possible (avec des problèmes de mauvaises herbes).

. *la riziculture "aquatique" irriguée*, est actuellement pratiquée, sauf sur certaines levées sableuses "hautes" et sur les gouttières d'écoulement marquant les anciens lits des défluent de la Sahabe avant les aménagements. Les aménagements du PC. 23 sur le cône de la Sahabe ont cependant affronté des difficultés qui ne sont pas partout résolues et qui ont amené à l'abandon de certains casiers ; il s'agit, *tout d'abord*, et par ordre chronologique d'apparition des contraintes depuis le début des aménagements (et qui étaient non prévues à l'origine), de la *microtopographie alluviale* (davantage que du tassement différentiel de la tourbe) c'est à dire de l'imbrication de multiples levées et cuvettes extrêmement gênante pour le planage ; cette irrégularité topographique obligeait à réduire la taille des parcelles élémentaires ou à les adapter aux courbes de niveau, aboutissant à un maillage complexe et irrégulier. Ces problèmes sont plus aigus dans la moitié amont du cône que dans sa moitié aval, où les amplitudes des dénivellations relatives sont en général moindre ; *en deuxième lieu* sont apparus, après établissement du réseau (plusieurs fois restructuré), des problèmes de mise en eau régulière des rizières des suites de la présence de sable à faible profondeur obligeant à irriguer trop souvent. Des casiers entiers ont alors dus être abandonnés au chiendent (en particulier à l'Ouest des Ilots Mahakary). En dehors de ces causes, des abandons ou mauvaises conditions d'irrigation, sont le fait d'un entretien insuffisant du réseau hydro-agricole. Donc, les conditions hétérogènes de milieu régnant sur le cône de la Sahabe, font que son aptitude globale à la riziculture est inférieure à celle des autres périmètres aménagés (PC. 15, Anony, SORIFEMA...). En réalité, *dans le détail*, cette aptitude est, à faibles intervalles, bonne (pour les zones argileuses) et mauvaise (pour les zones à lentilles sableuses). C'est l'imbrication complexe de ces 2 aptitudes,

ayant obligé à procéder par "essais et erreurs", à changer fréquemment la structure des aménagements, à en abandonner certains, entraînant ainsi des coûts élevés, qui constitue la contrainte principale de cette zone et qui la déprécie vis à vis des autres zones actuellement aménagées et rizicultivées, moins sujettes à variations (unité 31 du cône de l'Anony excepté, comparable, pour son aptitude, au cône de la Sahabe); d'autre part, dans ces zones la nature sableuse du sous-sol exige un entretien particulièrement fréquent des canaux dont les parois ont tendance à fluer.

. *les cultures de contre-saison*, le blé en particulier, seront également soumises à cette hétérogénéité du milieu. Dans les zones argileuses, sans lentille sableuse proche, les conclusions sont les mêmes que celles que nous avons énoncées pour l'unité 35 précédente : les conditions sont a priori assez favorables concernant l'alimentation hydrique par capillarité. Par contre, l'alimentation minérale pourra être déficiente (l'apport de fumier, d'amendements calcaires et d'une forte fertilisation sont requis). Le semis sur un sol ressuyé (nappe à plus de 30 cm de la surface) et bien affiné, est également nécessaire. Au niveau du système agraire, se poseront des problèmes comme la compatibilité des cycles riz-blé, le séchage et le battage du riz, le pâturage des troupeaux en saison sèche, etc... Dans les zones à sable proche, la capillarité ne peut plus assurer l'alimentation hydrique, et le blé y est donc à proscrire.

En définitive, l'appréciation globale pour le blé est que "l'aptitude est moyenne". Dans le détail, le choix des zones aptes ne pourra spatialement être circonscrit exhaustivement que par une étude détaillée axée sur la combinaison des critères "modelé-granulométrie-épaisseur de la tourbe".

IV. 5. 2. LES ZONES AMENAGEES ET DRAINEES RECEMMENT, A TOURBE ENCORE ASSEZ EPAISSE (UNITE 37)

Cette unité de milieu est située en aval des unités 35 et 36 précédentes, surtout en aval du PC. 23 et au Sud du "golfe" de l'Ivakaka, formant une bande terminale d'une largeur très variable comprise entre 500 mètres et 4 kilomètres ; elle s'en distingue par une épaisseur de tourbe généralement supérieure à 50 cm, celle-ci étant en début de tassement par drainage depuis une dizaine d'années au plus. On ne peut guère, à notre avis aller plus loin dans le drainage des marécages (unité 40) pour des raisons que nous avons évoquées précédemment : on arrive quasiment au niveau du lac, et même en-dessous une fois la tourbe flottante tassée et l'eau évacuée ; d'autre part, la destruction progressive des "zozoro", qui s'interposent entre la nappe d'eau du lac Alaotra et les zones aménagées, et qui jouaient jusqu'à présent un rôle amortisseur s'opposant aux fluctuations centrifuges de la nappe lacustre centrale, devient de moins en moins efficace. Le brûlage inconsidéré des "zozoro" du marais peut même, à terme, devenir dangereux pour les aménagements antérieurs, le lac et la nappe phréatique risquant alors de refluer, n'étant plus contenus suffisamment par cette végétation tampon.

L'eau circulant dans les drains en saison sèche est à moins de 1 mètre de la surface topographique actuelle qui n'est pourtant pas encore totalement stabilisée ; la nappe phréatique affecte alors encore une partie de la tourbe en cours de tassement. Cette nappe phréatique en saison des pluies est sub-affleurante et noie donc la tourbe. A l'aval de cette unité de milieu on peut donc dire que l'on est en situation incertaine vis à vis de l'évolution qui pourra se produire dans l'avenir : évolution favorable par drainage effectif comme dans les zones aménagées amont ? ou bien, au contraire, rétroaction négative, c'est à dire évolution défavorable après tassement, avec retour des eaux et donc submersion encore plus épaisse ? Seul cet avenir nous le dira, mais de toute façon nous pensons que nous sommes ici, presque partout, en position limite, qu'il est illusoire de vouloir drainer plus avant et dangereux de brûler les cypéracées dont le rôle est très important. C'est pourtant ce qu'on observe de plus en plus souvent toutes les années, en saison sèche, où de lourdes volutes et d'intenses trainées de fumée parcourent les marécages jusqu'au lac. Cette pratique est davantage le fait des pêcheurs que des riziculteurs (même si parfois ce sont les mêmes !).

Dans les zones récemment récupérées, les matériaux et sols, supports pour le riz, sont constitués actuellement de 50 à 150 cm de "tourbe" en cours d'évolution par tassement ; la partie supérieure, à débris bruts les plus grossiers, issus de racines et de tiges peu fragmentées, a généralement brûlé, après le brûlis de la partie aérienne des zozoro, qui constituait la première phase. La partie résiduelle mieux fragmentée, noire a subi une concentration relative et est descendue en se rapprochant du "substratum" argilo-humique boueux au fur et à mesure que l'eau libre qui l'imbibait ou dans laquelle elle flottait, était rabattue par drainage. Cette tourbe résiduelle est spongieuse, élastique sous les pas, à débris organiques très visibles, pas aussi fins que dans les tourbes plus anciennement récupérées (unités 35 et 36). Sa densité apparente virtuelle est très faible. Mais cette densité n'a pas grande signification puisque la tourbe est en grande partie saturée d'eau ; cette eau maintient sa structure, conditionne ses propriétés et en réalité fait partie intégrante de ce matériau. Si le drainage continue (s'il est encore possible) cette tourbe continuera à se tasser ; la mésofaune (vers de terre) qui interviendra pour transformer sa structure et apporter des particules minérales, le travail du sol, la mise en boue des rizières, la partielle réoxydation, seront autant de processus biologique mécaniques et chimiques (auxquels s'ajoutera une combustion partielle à la base), qui feront évoluer progressivement cette tourbe vers l'état observé dans les zones amont récupérées depuis plus longtemps. Son épaisseur se stabilisera alors vers 30-50 cm. Remarquons toutefois, qu'en toute logique, une telle déduction n'est pas totalement rigoureuse : en effet nous supposons par ce raisonnement qu'en aval du cône de la Sahabe les facteurs d'évolution et de différenciation des tourbes et que ces mêmes tourbes d'origine, étaient identiques. En fait, il n'est pas exclu (la situation dans la plaine, donc le régime hydrologique, n'étant pas invariants) que les "rapports de forces" entre processus, bien que très voisins dans toutes les situations aient une résultante interactive modulée d'amont en aval du cône, et que cette différence, "pertinente" pour l'évolution de la tourbe, nous ait échappée.

Sous la tourbe proprement dite se trouve toujours le matériau intermédiaire composé d'une *argile humique* fluante gorgée d'eau, de 20 à 50 cm d'épaisseur, qui elle aussi subira une certaine évolution par tassement (faible), si le drainage se poursuit.

Enfin on passe, en profondeur, au *matériau strictement minéral*, argileux fin ou sableux pur, plus ferme que les "sédiments" supérieurs.

Dans cette unité, nous n'avons pas pu différencier la *granulométrie des matériaux* situés sous la tourbe ; les coupes des drains ne sont pas visibles assez profondément et les sondages à la tarière ne peuvent remonter les boues liquides profondes. D'autre part, les corrélations de surface font ici totalement défaut, le micromodelé étant davantage corrélé avec le tassement différentiel de la tourbe qu'avec la dynamique hydrographique, peu marquée dans ces zones terminales à l'inverse de ce qu'on voit sur le cône de la Sahabe. De sorte que nous avons été privés de nos indicateurs habituels. On peut cependant supposer, *par stricte induction cette fois* qu'en prolongation aval du cône de la Sahabe, les matériaux du substratum sont sableux et argileux imbriqués comme sur ce cône, et qu'en aval des zones à substratum argileux, les argiles prédominent de la même façon.

En ce qui concerne *les aptitudes agricoles* de ces tourbes dans leur état actuel, on peut dire les choses suivantes : les *cultures pluviales* sont, bien sûr, interdites (hydromorphie totale, drainage insuffisant, alimentation minérale déficiente). La *riziculture aquatique* est la culture pionnière, qui, en interaction avec le "matériau tourbeux" construit son sol et l'améliore ; elle en est une de ses causes d'évolution et la "finalité" de celle-ci, en quelque sorte. Il est donc difficile de parler d'aptitude dans ce cas-là puisque les caractéristiques actuelles du milieu et donc cette aptitude sont supposées en rapide évolution. Cette évolution postérieure verra d'ailleurs probablement naître une différenciation dichotomique du milieu comme nous l'avons constaté pour les unités 35 et 36. En effet, au fur et à mesure que le drainage est plus efficace et que la tourbe se tasse, les régimes hydrique et hydrologique, actuellement considérés comme homogènes à l'échelle de perception qui est la nôtre, se différencieront progressivement en fonction de la dominance texturale des matériaux sous-jacents à la tourbe.

A l'heure actuelle, la topographie, pas encore fixée définitivement, est une source de difficulté pour le planage et la mise en eau du fait du tassement irrégulier de la tourbe. Le maintien de l'eau dans les rizières est rendu d'autant plus délicat que la "nappe perchée" ne peut pas encore s'individualiser par rapport à la vraie nappe phréatique dont le rabattement actuel par drainage est faible et imparfait. Elle imprègne la tourbe, et son niveau supérieur qui inonde les casiers rizicoles est sujet, beaucoup plus que dans les régions amont mieux drainées, aux fluctuations (positives ou négatives) de la nappe phréatique avec laquelle cette nappe perchée "virtuelle" est en continuité. D'autre part, la mise en eau des rizières à tourbe encore peu évoluée, riche en débris grossiers, a souvent pour résultat de "regonfler" cette tourbe qui peut se mettre alors à flotter. La submersion n'est donc pas toujours recommandable ; pourtant la remontée de la nappe provoquant une inondation incontrôlée, dans ces zones à drainage peu efficient, est difficile à éviter. Le semis direct sur sol engorgé, et non pas inondé, peut être préférable au repiquage dans une lame d'eau plus difficile à réussir. En dehors du régime hydrique mal maîtrisable,

le "sol" en lui-même est encore "creux" pour l'enracinement ; ses réserves minérales sont faibles et peu assimilables. Les conditions de la riziculture sont donc médiocres. Il faut ajouter, aux contraintes précédentes, le problème des mauvaises herbes (repousses de cypéracées) particulièrement préoccupant sur ces tourbes récemment récupérées.

Quant aux cultures de contre-saison, seules les cultures maraîchères sont envisageables ; elles sont d'ailleurs pratiquées souvent ; la culture du blé, à notre avis n'est pas encore possible ; le blé est extrêmement sensible à l'engorgement, spécialement après le semis, en début de cycle. D'autre part, il nécessite un semis dans un sol bien préparé, finement motteux non creux. Ces conditions ne sont pas réalisées et sont difficilement réalisables dans ce type de milieu. Le drainage et le tassement de la tourbe sont encore insuffisants. D'autre part, l'alimentation minérale, spécialement azotée, risque d'être très déficitaire, plus encore que sur les tourbes anciennes, bien "rassises" des régions amont.

IV. 5. 3. LES ZONES NON AMENAGEES A TOURBE EPAISSE NON FLOTTANTE (UNITES 38 ET 39)

Nous faisons entrer dans cet ensemble paysagique, les marécages à *Cyperus madagascariensis* ("zozoro") et à *Cyperus latifolius* ("Herana"), (donc non récupérés pour la riziculture), situés en amont des marécages de la cuvette centrale avec laquelle ils sont en continuité. Par rapport à ces derniers, la lame d'eau d'inondation est moins épaisse ; elle est le siège et l'agent d'une sédimentation fluviale plus que lacustre. Les sols y sont tourbeux, mais la tourbe ne subit pas de décollement systématique. Ces unités de milieu sont liées exclusivement aux systèmes hydrographiques terminaux de la Sahabe et de l'Anony.

En ce qui concerne la Sahabe, il s'agit d'une part des vastes marécages occupant la large "gouttière" située en amont du cône fluvio-deltaïque, au SSW de la route en remblai (entre Ambohitromby et Antandrokomby) et d'autre part de ceux situés à l'Est de cette route, encadrés par les digues de protection contre les inondations du fleuve.

En aval du système de l'Anony, nous avons introduit dans ce grand ensemble, les marécages situés sur le cône et délimités par les digues de protection canalisant les défluent principaux du fleuve.

Nous n'insisterons pas sur ces zones ; en effet, la plupart du temps, elles ne sont pas récupérables car il s'agit de marécages induits par la construction de digues périphériques ou aval ; elles possèdent donc une fonction liée à ces aménagements, dont ils sont la conséquence ; ce sont des zones non drainables ni récupérables, "sacrifiées", où sont canalisées et concentrées les eaux en excès qui n'ont pas pu être drainées directement jusque vers la cuvette centrale. Les marais de Maharivana dans la gouttière de la Sahabe, et le marais qui le prolonge au Nord, jusqu'à la route goudronnée, sont des cuvettes "tampon" à l'intérieur desquelles se dissipe ou se décharge une partie des eaux en provenance des bassins amont ; l'autre partie est

canalisée et encadrée plus en aval, sur le cône fluvio-lacustre lui-même, par 2 digues de protection parallèles. Le même système existe pour l'Anony, la différence étant que ces marais sont recouverts dans leur partie amont par des épandages fréquents de "baibohos" limono-sablo-micacés (sans formation de tourbe) parmi lesquels nous les avons classés (unité 46). Sur le cône de l'Anony, seule la partie aval tourbeuse des marais canalisés, sans recouvrement notable de "baiboho" a été incluse dans le type de milieu dont nous parlons ici.

Pour la logique et la cohérence de sa représentation cartographique, sa bonne articulation avec les zones aménagées, nous avons subdivisé cet ensemble en deux unités, différenciées d'après la granulométrie des sédiments sous-tourbeux :

- . tourbe non flottante sur matériau à texture argileuse (unité 38)
- . tourbe non flottante sur matériau à texture hétérogène (sable et/ou argile imbriqués latéralement et verticalement) (unité 38).

Pour le système de la Sahabe, les zones argileuses (argile fine gleyifiée, grise, homogène, kaolinique) se situent dans les larges cuvettes de décantation, latérales aux bourrelets du fleuve, après que celui-ci soit sorti des "tanety". Les zones les plus hétérogènes, à lentilles de sables (sable beige à très fines paillettes de mica) sont davantage localisées de part et d'autre de la Sahabe, en légère surélévation (bourrelet) et, sur le cône fluvio-deltaïque, dans la zone canalisée à multiples défluent, avant sa jonction avec les marécages de la cuvette centrale.

Pour le système de l'Anony, la même différenciation, concernant les granulométries, a respecté les continuités logiques avec les matériaux situés de part et d'autre des digues de protection.

. IV. 5. 4. LA TOURBE FLOTTANTE DE LA CUVETTE CENTRALE (UNITE 40)

Cette très vaste "unité de milieu" est citée pour mémoire. Elle est composée d'eau libre (quelques mètres d'épaisseur) où flottent des débris végétaux grossiers formant une "tourbe flottante", issus d'une végétation luxuriante de "zozoro" (*Cyperus madagascariensis*). Nous avons déjà mentionné le rôle probable que jouait cette végétation qui, par ses résistances, amortit fortement les fluctuations saisonnières de l'eau libre liée au lac Alaotra proprement dit, dans la région Sud de la cuvette. Cette inertie protège les zones aménagées (PC 23 et PC 15 surtout) contre un envahissement intempestif par les remontées du lac.

IV.6. - LES PLAINES ET VALLEES A EPANDAGES FLUVIATILES OU COLLUVIAUX ACTUELS

Nous rentrons maintenant, tout en restant toujours sur les niveaux de base actuels, dans le vaste domaine de la sédimentation strictement "terrestre", par les eaux de ruissellement, en opposition avec la sédimentation fluvio-lacustre ou deltaïque des unités précédentes.

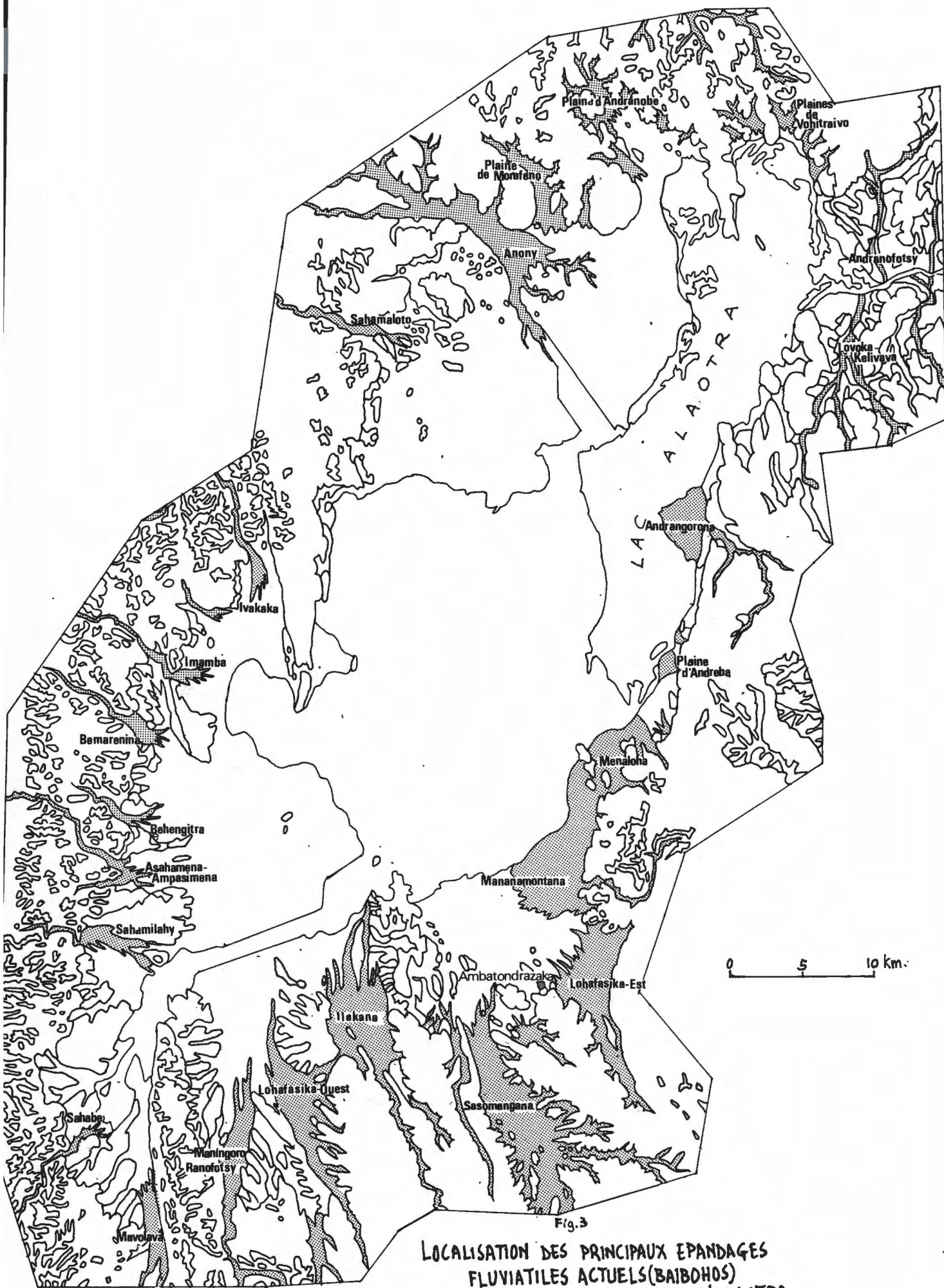
La nature des sédiments est liée directement à celle des bassins versants et à la chute progressive de la compétence des eaux, c'est à dire à leur aptitude à transporter les particules de telle ou telle taille et à déposer les autres.

Ici, la chronicité de la sédimentation et les submersions seulement intermittentes (et non plus permanentes) en situation de régime naturel, ne permettent plus la formation ou le maintien de la tourbe, ses conditions de genèse n'étant plus réunies.

Ces unités de milieux, que nous présentons ici en dernière partie de notre inventaire, représentent très logiquement le pôle opposé au pôle constitué par "les reliefs de dissection très accidentés et pentus à érosion active généralisée", dont l'exposé commençait cette étude. Dans les deux cas on assiste à une morphodynamique active l'une "destructrice" dont les "lavaka" sont le paroxysme, l'autre "constructrice" dont les "baibohos" constituent l'équivalent opposé des mêmes lavaka. Ces 2 ensembles de processus traduisent donc la même crise morpho-climatique affectant certaines régions plus que d'autres.

La plus grosse partie de ce grand ensemble est formée en effet des épandages actuels ou subactuels résultant de la coalescence puis de la différenciation spatio-temporelle des matériaux "limono-argilo-sablo-quartzo-micacés" (en proportions variables) issus de l'éventration en "lavaka" des versants convexes des bassins versants. L'étendue des épandages est strictement corrélée avec la densité de la dissection en amont. Les classes granulométriques auxquelles appartiennent les parties qui les composent sont directement liées, d'une part à l'éloignement de leur source d'émission et d'autre part à la nature des altérites érodées (richesse en argile, limons et micas par rapport au sable quartzeux), donc à la nature géologique du bassin (granites, migmatites, gneiss, gneiss à amphibole...).

Quant à l'origine du déclenchement localisé de telles "crises paroxysmales", elle tient à l'instabilité actuelle plus grande qu'ailleurs de certaines régions, où les altérites des versants sont particulièrement en déséquilibre, c'est à dire que leur seuil de maintien est dépassé, entraînant



leur destabilisation, leur mobilisation puis leur évacuation par les eaux de surface, pour être ensuite redistribuées en aval avec tri granulométrique.

La cause de l'instabilité des versants est la conjonction spécifique de certaines conditions qui sont, dans le cas des "lavaka" (unité 1) : la grande épaisseur des altérations argilo-quartzo-micacées (sur gneiss, migmatites ou granites) facilement mobilisables, la forte convexité des versants, les dénivellations importantes par rapport aux zones environnantes, la présence de nappes aquifères en profondeur dans ces altérites (favorisant leur fluage par la base), le dessèchement régulier de leur partie terminale (aptitude au cisaillement supérieur), lié au climat contrasté et à la disparition de la forêt. L'absence d'une seule de ces conditions pouvait antérieurement maintenir les versants en équilibre ou favoriser une dynamique différente. Ainsi les "demi-oranges" actuelles de la partie occidentale de la cuvette sont en équilibre relatif, alors que les reliefs convexes du Sud et du Sud Est sont en forte instabilité, car le "rapport de forces" entre les composantes est différent, le poids et les dénivellations des altérites ayant dépassé le seuil de cohérence interne.

Dans les zones où ces mêmes altérites et les nappes qui les imprègnent ont déjà été éliminées sur les versants à pentes fortes, la morphodynamique actuelle est alors le fait exclusif des eaux de surface, qui, découpant les arènes quartzeuses, les transportent jusqu'aux piémonts pour les y déposer en cônes de déjection gravillonnaires. Enfin, sur les grands versants à altérations argileuses peu quartzeuses (gabbros, amphibolites), nous avons vu que les formes d'érosion, sans lavaka, étaient différentes, caractérisées par une association de mouvements de masse généralisés (versants très bosselés) et de ravinements linéaires.

En définitive, la lithologie conditionne la nature des altérations, qui elle-même détermine la présence ou l'absence de nappe phréatique, caractère dont dépendent enfin les modalités des formes d'érosion (par la base ou par le haut) de ces matériaux, et, corrélativement la nature granulométrique des sédiments qu'ils alimentent en contre-bas sur les niveaux de base.

Ces dépôts subactuels ou actuels ayant pour origine en grande partie les altérites riches en minéraux primaires non altérés (mica en particulier), présentent des caractéristiques physiques et chimiques intéressantes pour l'agriculture qui en font les meilleurs sols de la région. Leur étude mérite donc une attention particulière.

Nous allons les passer en revue en adoptant comme *premier principe classificatoire*, la position des dépôts par rapport aux formes d'érosion dont ils proviennent, c'est à dire leur position dans le réseau hydrographique (vallées amont, vallées aval, plaines d'épandages terminales, cuvettes latérales etc...). Cette situation détermine en grande partie leur granulométrie (graviers → sables → limons micacés → argiles) ; cette granulométrie ordonnée d'amont en aval sera localement modulée par la nature des altérites arrachées qui constituera donc notre *deuxième principe de classement*. Nous partirons de l'amont à "chasses d'eau" brutales et déjections gravillonnaires ; nous

terminerons par l'untié, qui constitue en quelque sorte, le pôle opposé c'est à dire les cuvettes à décantation argileuse calme, piégée dans les culs-de-sac latéraux des vallées, barrés par des bourrelets. Un *troisième principe de classement*, croisé et en partie corrélé avec le second, et hiérarchiquement au même niveau sera basé sur le *degré de fonctionnalité* actuelle des épandages et des inondations, lié en grande partie à la *position topographique des dépôts* (levées, cuvettes, gouttières, piémonts directs..., pentes longitudinales et transversales).

Tous ces types de milieux forment les "baibohos" au sens large de terme. Rappelons qu'à Madagascar le terme vernaculaire de "baiboho" désigne, après "traduction" et précisions par nous, selon nos concepts propres, un système alluvial activement fonctionnel, à lits susceptibles de changer et à formes alluviales imbriquées (terrasses, lits, levées, cuvettes, deltas de rupture de levées, langues sableuses...), où se déposent de "riches" alluvions à tendance limono-micacée mais à strates alternées à granulométries contrastées, alimentées actuellement de façon chronique par des crues. Les inondations et la sédimentation qui les accompagne, sont plus ou moins brutales suivant la vitesse des eaux, la topographie alluviale, la position du site vis à vis du cours d'eau, la "compacité" et l'érosion du bassin versant. Ces épandages alimentent une "nappe phréatique d'alluvions". Après les crues et la fin de saison des pluies, cette nappe descend avant de se stabiliser plus ou moins profondément "trainant" derrière elle une humidité résiduelle gravitaire descendante et alimentant une capillarité remontante. Cette humidité peut dans les conditions favorables de topographie alluviale et de granulométrie, être suffisante pour assurer un cycle de "cultures de décrue" pendant la saison sèche ; dans les immenses "baibohos" de l'Ouest et du Nord-Ouest de Madagascar, on parle, pour ce type de culture de décrue (coton et tabac essentiellement), de "culture de baiboho". Comparés à ces derniers les baiboho de la région du lac Alaotra, sont modestes, et les cultures de décrue n'y sont pratiquement pas connues ; les baibohos sont surtout réservés à la riziculture aquatique avec maîtrise de l'eau donc avec diguettes et aménagements de petite hydraulique destinés à canaliser, amortir et contrôler le régime naturel de crue ; les zones "hautes" (bourrelets), où l'eau ne peut être amenée sont réservées aux cultures pluviales, cultures arbustives, pistes et villages. De nombreux marécages (cuvettes de décantation) en positions de culs-de-sac latéraux non drainables où sont piégées les eaux de débordement, sont inutilisés et occupés par des cypéracées, phragmites, "viha" (*Thyphonodorum Madagascariensis*) ou bien par des petits lacs, suivant la texture des alluvions et la hauteur de l'eau.

Nous termineront ce grand chapitre en parlant des *colluvions de piémont*, qui forment un cas particulier peu lié génétiquement aux alluvions de la famille des "baibohos" et dont l'extension géographique est réduite.

IV.6.1. LES EPANDAGES SABLO-GRAVILLONNAIRES (UNITE 41)

Ce type d'épandage, qui ne rentre pas à proprement parlé dans la catégorie des "baibohos", mais avec lesquels il est en relations génétique et topographique étroites, puisqu'il les domine toujours en amont, caractérise :

- d'une part les cônes de déjection situés aux débouchés des ravins drainant les bassins versants compacts et pentus, à ruissellement et décapage intense, mais ne comportant pas obligatoirement des "lavaka". Lorsqu'ils sont coalescents ces cônes de déjection forment un glacis de piémont gravillonnaire, à pentes assez fortes (jusqu'à 3 %) et à bombements successifs matérialisant les génératrices de chaque cône. C'est le cas surtout des piémonts des reliefs très accidentés et fortement érodés qui dominent les plaines Sud-orientales de la cuvette de l'Alaotra ; ils y forment une frange gravillonnaire plus ou moins continue, de 150 à 500 mètres de large.

- d'autre part, et c'est le cas le plus fréquent, les glacis, gouttières de piémont et têtes de vallées, concentrant les épandages les plus grossiers aux débouchés immédiats des champs de lavaka, les matériaux moins grossiers transitant alors et s'accumulant plus en aval. De telles "gouttières de piémont" caractérisent exclusivement les zones à lavaka très denses sur altérations migmatitiques riches en quartz, des reliefs de la partie Sud et Sud Orientale de la région. Ce sont les branches amont des vallées, encaissées, larges de 50 à 300 mètres, à pentes longitudinales élevées (plus de 1 %), qui, en se réunissant donneront plus en aval les "baibohos" limono-sablo-micacés proprement dits (voir unités suivantes, 42 à 48).

Les matériaux déversés concentrent les sables grossiers et graviers quartzeux, parfois des cailloux granitiques (sur les cônes de déjection des piémonts immédiats, en particulier), en provenance des lavaka et versants décapés. Ces sédiments sont grossièrement stratifiés et mal triés. Ils sont déposés en nappes, par à-coups, entraînés par des "chasses d'eau", spécialement pendant les périodes cycloniques, quand des pans entiers de versants s'effondrent et élargissent les "lavaka". Les matériaux vont d'autant plus loin que la vallée garde une pente forte, quelle est étroite et qu'elle est "nourrie" par de nombreux lavaka qui jalonnent les bordures de son profil en long. C'est surtout le cas des longues et étroites gouttières migmatitiques, encastrées et canalisées entre des versants à rides granitiques rapprochées (unité 8).

Ces matériaux subactuels ne montrent pas d'évolution pédogénétique particulière. Ce sont des "sols brut d'apport". Ils sont compacts, à structure massive et se dessèchent vite ; ils sont le siège de ruissellement en nappe intense et généralisé, ainsi que de recouvrements sporadiques sablo-gravillonnaires localisés, mais à la longue, balayant le cône. Cette unité de milieu possède donc une aptitude faible pour l'agriculture, nulle pour la riziculture, très médiocre pour les cultures pluviales, nulle également pour les cultures de contre-saison (il n'y a pas de remontée capillaire dans ces gravillons, la nappe étant toujours trop basse).

IV.6.2. LES ALLUVIONS DES VALLEES AMONT (UNITES 42 ET 43)

Nous traitons ici des vallées alluviales relativement étroites, à "*baibohos*", qui précèdent leurs déploiements en vastes plaines d'épandages des niveaux de base terminaux ; elles sont donc situées dans le prolongement amont de ces plaines, et sont encastrées entre les reliefs érodés, dont les altérites évacuées et redistribuées sont les sources de leurs sédiments. Ces vallées sont bien individualisées et canalisées ; elles sont entaillées par un cours d'eau unique (sans défluent), parfois permanent, bien encaissé dans le remblai alluvial, à débordements annuels, mais à changements d'emplacement peu fréquents, à l'inverse de ce qu'il devient aux débouchés de ces vallées, sur les plaines d'épandages terminales, où il se divise alors en défluent qui, en se déplaçant "*chroniquement*", balayent la plaine (voir unités 44 à 48).

Les inondations, ne pouvant se déployer latéralement sont bien *maintenues* dans ces vallées encaissées ; elles sont brutales et occupent toute leur section ; elles sont donc difficilement contrôlables et interdisent les aménagements rizicoles. Ce type de vallée est alors généralement occupé par une végétation dense de *Phragmites* ("*Bararatra*").

Une distinction s'impose du point de vue de la *granulométrie moyenne des dépôts*, liée étroitement à la *nature des altérites érodées* fournissant les sédiments, donc à la *lithologie* des reliefs traversés.

IV.6.2.1. LES VALLEES A ALLUVIONS DE TEXTURE SABLEUSE DOMINANTE (UNITE 42)

Les alluvions sableuses caractérisent les vallées dominées et nourries par des reliefs gneissiques, migmatitiques et granitiques, éventrés en *lavaka* ou décapés par un *ruissellement concentré et superficiel* jusqu'à l'*arène* basale, la quasi totalité des altérites supérieures ayant été, dans ce cas, antérieurement déblayée.. Ce type de vallée alluviale est donc particulièrement représentatif des reliefs fortement érodés du Sud, du Sud-Est, et du Nord de la région sur roches riches en sables quartzeux et en micas (unités 2, 3, 4, 5, 7, 8).

Position dans le paysage, tri et typologie des sédiments :
au Sud et au Sud-Est, ces vallées sableuses sont situées dans les prolongements aval des gouttières de piémont à épandages sablo-gravillonnaires (unité 41) ; elles forment alors le *deuxième stade de sédimentation fractionnée* longitudinale des altérites érodées issues des déjections coalescentes des innombrables *lavaka* des reliefs éventrés dominants. Après les graviers et sables très grossiers, se déposent donc ici les sables peu micacés et à dominance grossière ; ceux-ci seront suivis en aval par le délestage des sables moyens et fins micacés puis des limons micacés, enfin, des argiles limoneuses et des argiles. Ce tri granulométrique hiérarchisé *longitudinalement*

d'amont en aval des gouttières, vallées et plaines terminales, est "Croisé" par un tri granulométrique *latéral* cette fois, par rapport aux axes d'écoulement concentré des cours d'eau. Ce tri latéral peut se déplacer d'une année à l'autre, des limons, des sables, des micas et des argiles pouvant donc s'imbriquer. Le classement latéral module donc et relativise la tendance générale longitudinale, celle-ci restant cependant hiérarchiquement dominante.

Cela se traduit dans les sections verticales du remblai alluvial par une alternance de strates à textures tranchées ; mais la *texture dominante et l'épaisseur des strates ayant cette texture*, dans une portion donnée d'un système alluvial, dépend de sa situation longitudinale entre l'extrême amont et l'extrême aval.

Dans l'unité de milieu dont il est question ici, *cette texture dominante est sablo-grossière, peu micacée*. Cela n'exclut donc pas la présence de lentilles interstratifiées de texture sableuse moins grossière, sablo-micacée, limoneuse et même argileuse (dans les culs-de-sac latéraux, où sont piégées des cuvettes de décantation). Une telle différenciation de détail n'a évidemment pas été possible au "niveau de perception" et à l'échelle de notre étude.

Du point de vue de leur taille et de leur modèle alluvial, ces vallées amont sableuses ont les caractères suivants : elles présentent dans la majeure partie de leur cours une largeur faible, de 50 à 300 mètres ; elles butent directement, avec une rupture de pente très nette, contre les versants pentus et convexes latéraux ; elles sont entaillées par un cours d'eau enfoncé de 1 à 3 mètres ; peu à peu ces vallées s'élargissent, pouvant alors atteindre 1 à 2 kilomètres en aval, à leur raccord en continuité parfaite avec les plaines d'épandage proprement dites ; en même temps, le cours d'eau devient plus important, son lit s'élargit, devient moins encaissé, peut changer d'emplacement et déborde donc plus fréquemment et plus brutalement avec des déversements sableux importants liés à la réduction rapide de la pente longitudinale de la vallée. Les vallées sont le plus souvent occupées par une végétation dense de *Phragmites* ("Bararatra"), associés à des *Cyperus latifolius* ("herana") dans les zones à nappe d'eau sub-affleurante permanente.

Le régime hydrologique est caractérisé par une dynamique fluviale avec inondations saisonnières par débordement de crue, étalement et transit des eaux, selon une vitesse et une force variables, assurant un tri granulométrique des matériaux transportés et déposés. L'eau circule ou s'accumule dans la majeure partie de la vallée encaissée occupée par des *Phragmites*. Cette eau de crue alimente une nappe phréatique logée dans les sables alluviaux et s'y maintient généralement à faible profondeur pendant toute la saison sèche.

Les sols sont des "sols peu évolués d'apport hydromorphes" ou des "sols hydromorphes minéraux sableux" engorgés pendant la majeure partie de l'année. Ils présentent des teintes ternes (gris, verdâtre) à marmorisation peu contrastée. La fréquence des apports alluviaux empêche l'accumulation de la matière organique.

Les contraintes à l'utilisation agricole de ce type de milieu sont d'ordres hydrologique, morphodynamique et pédologique combinés : la riziculture traditionnelle par submersion contrôlée de parcelles planées et endiguées est ici très difficile, sinon impossible pour 2 raisons : dans les gouttières encaissées "fonctionnelles", le régime hydrologique naturel par débordements brutaux et déversements sableux (surtout après destruction des *Phragmites*) n'est pas artificiellement maîtrisable ; les aménagements sont détruits ou ensablés. D'autre part, la nature sableuse des sols est également très défavorable à ce type de riziculture qui, pour bénéficier d'une submersion correcte, nécessite des sols plus argileux ; ici, l'eau ne reste pas quand on en a besoin et est destructrice par ses arrivées brutales intempestives. Localement, les zones (précairement) protégées contre l'inondation brutale et l'ensablement (en particulier sur les bourrelets situés près d'anciens lits qui, provisoirement ne sont plus fonctionnels) peuvent être utilisées pour les autres cultures pluviales et les cultures arbustives (bananier, agrumes...).

La culture du blé de contre-saison est localement possible ; cependant, il y a des risques ; on sait en effet que de tels sols sableux de granulométries variables à discontinuités entre les strates, sont le lieu d'une remontée capillaire de faible épaisseur et à ruptures imprévisibles. La nappe a beau être proche de la surface (moins de 1 mètre en général) les sols sableux stratifiés risquent de ne pouvoir conduire sa capillarité jusqu'aux racines, de façon sûre et homogène. Cet aspect excessivement aléatoire spatio-temporellement nous font apprécier globalement ce type de milieu comme assez défavorable pour le blé. Il n'est pas exclu évidemment que des études "fines" puissent délimiter des sites particuliers et dispersés qui conviennent.

IV.6.2.2. LES VALLEES A ALLUVIONS DE TEXTURE ARGILEUSE DOMINANTE (UNITE 43)

Ce type de milieu caractérise exclusivement les vallées argileuses logées dans les reliefs érodés modelés sur gabbro, de la région septentrionale de la région du lac Alaotra. Ces vallées sont différentes par plusieurs aspects, de celles qui sont encastrées dans les reliefs sur roches quartzeuses (granites, gneiss, migmatites), que nous avons étudiées précédemment (unité 42) ; en plus du fait que leurs alluvions sont plus argileuses (dès leurs parties les plus en amont), elles présentent une "physiographie" distincte : leur pente longitudinale est généralement forte, celles-ci atteignant 3% en amont où les vallées commencent "en pointes" étroites (moins de 50 mètres), rassemblant et canalisant les matériaux d'érosion issus des nombreux ravins linéaires incisant les versants ; puis, au fur et à mesure de leur coalescence, ces "gouttières de transit", s'élargissent progressivement en vallées plus importantes qui peuvent alors atteindre 500 mètres à leurs débouchés dans les plaines aval constituant le niveau de base terminal ; à ces endroits elles "s'ouvrent" et leurs lits se divisent alors en plusieurs défluent déversant en nappe, leurs sédiments argileux, au-dessus des argiles sableuses de fluage (unité 25) et des alluvions fluvio-lacustres (unités 28 et 31). Ces plaines d'épandages terminales constituent alors un autre type de milieu que nous décrirons par la suite (unité 44).

Les vallées drainant les massifs de gabbro sont incisées par des petits cours d'eau constituant les prolongements aval des ravinements entaillant les versants dominants. Ceux-ci présentent des pentes générales rectilignes à concaves affectées de nombreux bossellements et ravins. De sorte que, comparées aux vallées des reliefs à lavaka sur roches granito-gneissiques à altérites argilo-sableuses à nappe phréatique, qui présentent des ruptures de pentes brutales au contact avec les versants convexes très pentus latéraux, les vallées des reliefs ravinés sur gabbro à altérites argileuses (sans sable), sont moins encastrées et ont davantage l'allure de gouttière et d'axes de transit colluvio-alluvial que de vallées alluviales classiques. On a donc, entre les caractéristiques des reliefs sur gabbro et celles de leurs vallées un rapport de corrélations dont les 2 parties de ce rapport sont constituées par les "syntagmes associatifs" spécifiques suivants : d'une part "roche gabbroïque - altérite argileuse sans sable - absence de nappe phréatique - versants rectilignes à concaves - érosion en ravins" (Ce syntagme étant spécifique de "l'unité de milieu 6"), et d'autre part "alluvions argileuses - vallées peu encaissées - rupture de pente latérale peu marquée", syntagme définissant "l'unité de milieu 43". Il est intéressant de comparer les mêmes composantes du milieu, avec des modalités différentes, caractérisant cette fois les reliefs sur granito-gneiss : les syntagmes du rapport de corrélation analogue deviennent alors les suivants : d'une part "roche granito-gneissique - altérite argilo-sableuse - présence d'une nappe phréatique - versants convexes - érosion en lavaka" (unités 8 et 9 réunies), d'autre part "alluvions sableuses - vallées très encaissées - ruptures de pentes latérales brutales" (unités 39 et 40 réunies).

Dans les 2 cas les 2 rapports associatifs forment des "lois de structure" ou des "lois relationnelles" (ou "loi d'harmonie"), c'est à dire que dans chaque cas un terme d'un rapport dans n'importe quelle position géographique où il existe, est automatiquement associé à l'autre terme (ou inversement) qui peut être qualifié en quelque sorte de son "négatif", son "inverse", son "pôle opposé". Une unité de milieu n'existe pas sans son unité de milieu "inverse" : tel type de relief, sur tel type de roche avec tel type d'altération, affecté par tel type d'érosion, est corrélatif de tel type de vallée, où transite tel type de sédiments. Ces rapports spécifiques d'association et d'opposition sont constitutifs de la structure du paysage. De multiples autres cas de ce genre existent, nous les avons plusieurs fois mentionnés ; ensemble, ils règlent l'ordre structural de la région. A côté de ces lois de structure, qui régissent les relations, les "lois de systèmes" régissent les processus matériels concrets eux-mêmes dans leurs multiples interactions spatio-temporelles et dialectiques ; structure et système participent à la même réalité ; mais la première est la réalité abstraite "impalpable" directement, elle se perçoit dans l'harmonie du paysage sans que nous sachions a priori en quoi cette harmonie consiste ; la "dissection" de la structure est l'objet de l'analyse structurale ; la seconde, systémique, en principe accessible empiriquement, est la réalité concrète. Seulement sa genèse et sa "signification" ne s'éclairent que par sa structure. Système et structure sont donc 2 concepts différents mais indissociablement liés et que l'on ne doit pas ignorer surtout en cartographie.

Après ces quelques considérations supplémentaires sur la "philosophie pratique" qui sous-tend notre approche et notre méthodologie, terminons la description de notre unité de milieu.

Les matériaux qui la composent sont des colluvio-alluvions issues de l'érosion (ravinements) des altérites rouges argileuses sur gabbro des versants. Les sols qui en dérivent sont marqués par l'hydromorphie, se sont des "sols hydromorphes minéraux" ou des "sols peu évolués d'apport hydromorphes" sur un fond brun-rougeâtre, et très argileux sans sables quartzeux, ni micas, caractères hérités des sols des versants dont ils dérivent par érosion. Ce "faciès" est donc assez différent de celui des "baibohos" habituels et il en constitue un cas *très particulier*. Nous l'avons rattaché aux "baibohos" pour des raisons de cohérence génétique et structurale.

La dynamique hydrologique et sédimentologique de ces vallées à pentes longitudinales relativement élevées, est caractérisée par des passages d'eau turbulents, dus à la convergence rapide des eaux de ruissellement, concentrées sur les versants. Ces eaux transitent et déposent une partie des argiles qu'elles transportent, l'autre partie étant épandue dans les plaines aval (unité 44). Elles alimentent une "nappe phréatique d'alluvions" qui reste proche de la surface.

L'intérêt agricole de ces vallées fonctionnelles étroites, dispersées, difficiles d'accès, à régime hydrologique défavorable, à sols hydromorphes, est très faible pour l'agriculture pluviale et la riziculture (la maîtrise de l'eau étant très difficile). L'agriculture de contre-saison sans irrigation, le blé en particulier, peut y être tentée ; leurs conditions hydro-pédologiques y sont a priori meilleures (en particulier la remontée capillaire) que celles de leur équivalent sableux (unité 42). Mais, relativement au contexte régional physique et socio-économique, l'intérêt de ces petites vallées est minime.

IV.6.3. LES ALLUVIONS DES VALLEES AVAL ET DES PLAINES D'EPANDAGE TERMINALES (UNITES 44 à 48)

Nous abordons maintenant les alluvions "actuelles", toujours du type "baiboho", qui s'étalent en vastes plaines et cônes d'épandage sur le niveau de base terminal de la cuvette du lac Alaotra, venant ainsi recouvrir sur une épaisseur variable les matériaux un peu moins récents (argiles sableuses fluées, alluvions fluvio-lacustres tourbeuses ou non). Ces plaines d'épandage aval, résultent donc de l'élargissement progressif, puis du large déploiement en éventail, des vallées à "baibohos", encastrées dans les reliefs périphériques transitant les produits d'érosion actuelle de ces derniers et convergeant vers la cuvette (voir unités 42 et 43 précédentes). Ces sédiments, la plupart du temps de teinte rosâtre et riches en limon et micas (exceptés ceux issus des reliefs sur gabbros

et amphibolites du Nord de la région) viennent se déposer en nappes, épaisses en amont des plaines (plusieurs mètres), fines et diverticulées en aval où elles forment alors des "biseaux de bavure" venant mourir au-dessus des matériaux exondés déposés antérieurement, qu'elles recouvrent. On a ainsi d'amont vers l'aval des plaines l'association interdépendante des caractères : *diminution de la pente longitudinale, chute régulière de la compétence (capacité de transport) des eaux fluviales, amincissement de l'épaisseur totale des "baibohos" déposés, et enfin tri granulométrique et "affinage" progressif* de ces derniers. Les "baibohos" de la "rive" Est se déversent directement dans la nappe d'eau lacustre où ils se surélèvent en typiques cônes d'épandage.

A l'intérieur de ce vaste ensemble composé des "baibohos de plaine", un certain nombre de différenciations, "pertinentes" et cartographiables au niveau de perception de notre étude, ont été faites. Cette différenciation prend en compte 3 composantes qui peuvent se recouper :

- . *la texture dominante des sols* (correspondant donc à la "partie supérieure du baiboho") c'est à dire en réalité, de façon indirecte, la nature des altérations érodées des bassins versants, donc leur lithologie

- . dans une certaine mesure la *position topographique* (modèle alluvial) des dépôts avec en particulier la distinction des levées,

- . enfin, le *degré de "fonctionnalité"* des épandages, c'est à dire les zones d'alluvionnement actuel actif ; celles-ci sont susceptibles de modifier de façon chronique leur situation dans les plaines, donc, valables pour l'année de prise de vue des photos aériennes.

Nous avons donc été amenés à faire les 5 subdivisions suivantes :

- . *les alluvions à texture argileuse dominante*, des régions Nord et Nord-Est de la cuvette

- . *les alluvions des levées, bien drainées à texture variable*, généralement non inondables et non rizicultivées car hors d'atteinte de la submersion artificielle

- . *les alluvions à texture limono-micacée dominante*, qui représentent la plus grande partie des plaines d'épandages et sont les plus intéressantes pour la riziculture et les cultures de contre-saison.

- . *les épandages sableux fonctionnels*, généralement situés en amont des plaines, où s'opèrent des décharges brutales ("chasses d'eau") de sable aux débouchés des fleuves sur le niveau de base terminal, empêchant l'agriculture.

- . *les épandages limoneux fonctionnels*, par contre, sont plutôt situés en position radiale sur les cônes d'épandage, s'élargissant vers l'aval ; ils forment ainsi les parties momentanément actives de ces cônes.

IV.6.3.1. LES ALLUVIONS A TEXTURE ARGILEUSE DOMINANTE
(UNITE 44)

Ce type de "baiboho" intéresse les vallées aval et plaines d'épandage de la partie Nord et Nord-Est de la région étudiée. Il est strictement corrélé avec la présence en amont, de reliefs façonnés sur gabbros ou amphibolites et donc couverts d'altérations essentiellement argileuses, avec peu de quartz et de mica.

Il faut cependant signaler les faits importants suivants, qui conditionnent la "pureté" de l'unité : si les *massifs de gabbros intrusifs* sont effectivement homogènes et ont donc livré des alluvions également homogènes et exclusivement argileuses, par contre les *massifs à amphibolites et à gabbros en sills interstratifiés*, sont associés à des *gneiss* qui eux sont riches en quartz et mica. Dans ces 2 derniers cas les baibohos situés en aval, que nous avons intégré à cette unité, peuvent donc présenter quelques paillettes de mica et du sable quartzeux, même si leur texture moyenne est statistiquement plus argileuse que limono-micacée. L'imbrication des roches basiques et quartzo-micacées dans cette région Nord est telle, qu'elles n'ont pu être délimitées qu'en tant de "complexe" indifférencié intitulé "gabbros et gneiss associés" ; nous avons constaté que les alluvions qui en sont issues étaient davantage situées vers le *pôle argileux* que vers le *pôle limono-micacé* et c'est pourquoi nous avons choisi de les ranger dans l'unité 44, plutôt que d'en faire une unité spéciale qui aurait encore surchargé la légende. Donc dans les gabbros intrusifs et homogènes l'unité 44 est "pure", alors que dans les roches basiques associées aux gneiss, cette unité est "impure", et comporte donc des exceptions locales limono-sablo-micacées. Cette remarque est importante pour l'utilisateur de la carte, afin qu'il sache, d'une part comment expliquer le "décalage" éventuel qu'il pourrait constater entre ses observations ponctuelles et les caractères moyens de cette unité, décrits dans la légende de la carte, d'autre part comment "prévoir" les sites où une telle hétérogénéité est susceptible d'exister, en fonction des informations sur les roches des reliefs encaissants, qui elles, ont une précision suffisante sur la carte. Cette même "mise au point" était valable de la même façon pour l'unité 43 précédente, correspondant aux vallées amont, plus étroites.

Les principales plaines et vallées possédant de telles alluvions à texture dominante argileuse situées au Nord en général, dans les plaines terminales, les baibohos argileux recouvrent en biseau, soit des "argiles sableuses de fluage" (unité 25), soit des alluvions fluvio-lacustres argileuses non tourbeuses (unités 28, 32 ou 34), soit successivement d'amont en aval, les 2 types de matériaux. Ils peuvent également s'imbriquer avec des baibohos sablo-limono-micacés en provenance de roches acides comme c'est le cas sur la rive gauche de l'Anony. Les vallées qui arrivent près du seuil du Maningory (Ilovoka, Kelivava, Andranofotsy, Ampandriamba) constituent un cas assez particulier puisque, contrairement à ce qui se passe ailleurs, à cet endroit elles ne s'élargissent pas en s'étalant en "biseau de recouvrement" en aval, mais restent encastrées et "canalisées", avec une largeur de 150 à 300 mètres, dans les "argiles sableuses de fluage" avec lesquelles elles sont cependant sensiblement au même niveau topographique. On les distingue néanmoins en surface par la différence de couleur (brune au lieu de grise), par la structuration

(fentes) et par l'absence de sables quartzeux. Elles sont souvent davantage rizicultivées que les argiles sableuses de fluage, voisines, sauf en ce qui concerne les vallées de la Lovoka et de la Kelivava et où à cet endroit la plaine qui est constituée par ces 2 matériaux imbriqués est irriguée grâce à un barrage sur la Lovoka d'où part une prise d'eau.

Les sols, sur ce type d'alluvions sub-actuelles, sont des "sols peu évolués d'apport hydromorphes" ; ils sont de teinte brun foncé, brun-vif ou brun-rougeâtre, présentant quelques taches noirâtres ferromanganiques. Leur texture est généralement argileuse à argilo-limoneuse (environ 45% d'argile, 45% de limon, 10% de sable) ; ils sont bien structurés (structure polyédrique anguleuse, fissuration en saison sèche). Leur teneur en matière organique est inférieure à 4%. Leur pH est généralement relativement élevé, de l'ordre de 7 (ce qui est remarquable dans une région où la majeure partie des sols ont des pH aux alentours de 5). En conséquence, la capacité d'échange du complexe absorbant est également assez forte, de 20 à 25 méq ; la somme des bases échangeables est non moins élevée, entre 18 et 20 méq. Par contre en matière de phosphore, ces sols ne sont pas mieux pourvus que les autres (30 ppm de phosphore assimilable OLSEN). Une autre de leurs propriétés, assez intéressante est leur teneur en "eau utile" qui est de l'ordre de 13%. Ces sols ont donc, relativement aux autres sols de plaine de la région, une excellente fertilité globale.

Le régime hydrologique actuel, en territoire "aménagé" pour la riziculture de submersion (planage, diguettes, canaux d'irrigation et de drainage) est caractérisé par une inondation, contrôlée par une "nappe perchée", qui peut être indépendante de la nappe phréatique logée dans les alluvions, plus ou moins rabattue par les aménagements mais qui peut se situer cependant près de la surface ; en régime "naturel" cette nappe affleurerait et participerait aux inondations au même titre que les débordements des cours d'eau (actuellement les crues sont maîtrisées) et que les ruissellements en provenance des bordures. En saison sèche la nappe perchée disparaît par évaporation et infiltration lentes ; la nappe phréatique baisse jusque vers 1,5 à 2 mètres de profondeur en fin de saison sèche. Le sol, s'il reste nu après la récolte du riz, se dessèche et se fissure alors en surface, mais reste frais ou humide à partir de 30 cm de profondeur, d'une part grâce à l'eau résiduelle à la "traîne" de la nappe descendante, et d'autre part grâce à sa remontée capillaire une fois cette nappe stabilisée.

La valeur agricole de ces sols alluviaux argileux est bonne dans l'ensemble exceptée naturellement pour les cultures "pluviales", sensibles à l'hydromorphie. Ce sont de très bons sols rizicoles, meilleurs que les sols hydromorphes sur matériaux de fluage ou fluvio-lacustre qui présentent une fertilité naturelle inférieure. Ils retiennent parfaitement l'eau (peu de sable), sont faciles à planer (peu de méso-relief alluvial).

Le blé de contre-saison peut être tenté car il a des chances raisonnables de réussir dans certaines situations. Il faudra éviter les bordures des cours d'eau encaissés de plus de 2 mètres. Ailleurs la réussite n'est pas assurée partout ; elle dépend de la profondeur de la nappe en fin de saison sèche car la capillarité doit prendre le relais de l'eau résiduelle laissée par la baisse de cette nappe. Or, au-delà de 1,50 mètre, il semble que la capillarité ne puisse remonter jusqu'en surface avec un débit suffisant pour l'alimentation hydrique du blé. Dans les sols pouvant contenir du sable (épandages dominés par les gabbros et gneiss interstratifiés, au Nord de la région), le risque d'échec est plus grand que dans les zones dominées par les gabbros. Il est certain que cette incertitude due au fait que nous sommes en conditions hydrologiques "limites", et que par conséquent seule une partie (50% ?) de ces sols est susceptible de convenir (donc à condition de faire une étude complémentaire plus fine), est un facteur dépréciatif pour cette unité.

IV.6.3.2. LES ALLUVIONS DES "LEVEES" BIEN DRAINEES A TEXTURE VARIABLE (UNITE 45)

Les "levées" (ou "bourrelets") sont fréquentes sur les épandages terminaux des baibohos ; bien que réduites en superficie et souvent incartographiables, elles constituent cependant un élément essentiel du méso-relief de ces plaines. Nous n'avons pu indiquer sur notre carte que les plus importantes.

Les levées que nous avons représentées sont les zones les plus "hautes" (ne dépassant toutefois pas 1,50 mètre de dénivellation) des modelés "alluviaux, généralement mieux drainées, inaccessibles aux inondations (naturelles et artificielles) et donc non rizicultivées. Elles sont souvent disposées en éventail, en faisceaux de diverticules divergents et se subdivisant d'amont en aval, allongés suivant les "génératrices" des cônes d'épandage ; les levées forment des bombements convexes le plus souvent étroits (50 à 300 mètres mais plus larges sur les cônes de la Manamontanana et de la Menaloha), discontinus, parfois anastomosés ou se recoupant. En général, aucun chenal central axial ne les entaille plus, celui-ci ayant été colmaté à la fin de leur construction. Le bombement "sommital" est continu.

De telles formes alluviales ont la genèse suivante : à l'origine il s'agissait de chenaux issus de la diffluence des cours d'eau principaux ; ces chenaux peu encaissés transportent des alluvions qui s'accumulent de part et d'autre de l'axe d'écoulement, celui-ci débordant rapidement en hivernage, avec dépôt préférentiel de sable et mica, les éléments fins transitant pour se déposer plus loin ; au fur et à mesure de ces dépôts, le lit lui-même commence à se surélever en même temps que, progressivement, la "compétence" de transport des eaux faiblit et que les sédiments déposés deviennent plus fins. Les eaux ayant de moins en moins de vitesse, les sédiments devenant limono-argileux (les sables se déposant alors en amont) s'accumulent préférentiellement au fond du lit (avec "bavures" latérales sur les levées) qui se trouve alors perché au-dessus du niveau moyen de la plaine. A la fin, le chenal lui-même est comblé par ses propres alluvions et disparaît, pour laisser place à un simple bombement convexe non entaillé au centre.

Une fois le bombement allongé arrivé à son terme, il a donc la direction de l'ancien axe d'écoulement "en creux" à l'origine. Celui-ci ayant disparu par comblement, le défluent qui était canalisé à cet endroit, change alors d'emplacement, et le cycle recommence. Ainsi, peu à peu, le cône d'épandage se surélève : d'une part par des dépôts en "nappe de crue" et d'autre part par des dépôts plus concentrés en bombements longilignes. Cette dynamique opère donc globalement un "balayage" de la plaine avec recouvrement progressif des vieilles levées. Au fur et à mesure que celle-ci se surélève, les cours d'eau principaux s'y encastrant mieux, et les sédiments peuvent alors transiter plus loin pour se déposer plus en aval, "coloniser" les marais périphériques du lac (Est de la région), ou bien recouvrir des matériaux des plaines et glacis-plaines hydromorphes.

Le processus "entaille longitudinale - dépôts latéraux - surélévation du lit - ennoyage - du lit par ses propres alluvions - disparition de l'écoulement longitudinal - bombement", qui commence par un creux, pour se terminer vers son nœud omosé, le relief, constitue un autre exemple d'une typique boucle de rétroaction négative. De par sa dynamique interne, le système alluvial local entre en crise : le lit colmaté, les eaux quittent les bourrelets et se désorganisent ; puis elles recherchent un nouvel "ordre" recreusant les alluvions pour recommencer le processus précédent, dans une nouvelle stabilité apparente pendant laquelle le nouveau lit se surélève à son tour. Le processus lui-même, sans intervention extérieure, trouve dans sa dynamique propre les causes de sa propre disparition puis de sa réorganisation.

La dynamique de la genèse des levées, accompagnée d'une réduction progressive de la compétence des eaux, nous donne la clé de la nature granulométrique des alluvions qui les forment : les premiers dépôts, à la base de la levée, sont à prédominance sablo-micacée, puis ceux-ci sont recouverts par des limons micacés et enfin des limons argileux ; cette disposition n'est pas aussi simple dans le détail, mais il semble que ce soit une tendance générale : sur les levées sans chenaux le sol est limoneux ou limono-argileux dans le mètre supérieur, alors qu'une semelle de sable micacé est présente à la base.

Les sols sont des "sols peu évolués d'apport" non hydromorphes. Ils sont très bien drainés ; cette qualité se traduit par une teinte rougeâtre (sans taches) assez vive comparée à celle des baibohos environnants plutôt rose. Ils sont bien structurés et possèdent de bonnes propriétés physiques. Leur texture moyenne est limono-argileuse (environ 35% d'argile, 53% de limon, 10% de sable fin, 2% de sable grossier) ; mais des strates limoneuses alternent avec des strates argilo-limoneuses ou limono-argileuses ; la teneur en limons (0-20 μ) qui contient des micas, est toujours supérieure à 40% ; la proportion des sables grossiers quartzeux est faible (moins de 10%). A partir de 1 mètre de profondeur, on passe aux textures grossières : du limon sableux micacé au sable quartzo-micacé pur. Ce matériau est généralement le siège d'une lentille aquifère. Ces sols sont pauvres en matière organique (1,5 à 2%) ; leur pH est acide en surface (5,5), plus élevé en-dessous (6 à 6,5) ; le complexe absorbant a une capacité d'échange de 12 à 15 méq et une somme des bases échangeables de 6 à 12 méq. La teneur en phosphore assimilable est très faible (de l'ordre de 20 ppm, phosphore OLSEN). Leur teneur en "eau utile" est comprise entre 15 et 20%.

Ces caractéristiques physico-chimiques en font des sols de bonne fertilité relative. Ils ne sont cependant pas rizicultivés car leur position topographique surélevée ne permet pas d'y amener l'eau de submersion dans de bonnes conditions. Leurs excellentes propriétés physiques et leur absence quasi-totale d'engorgement en saison des pluies jusqu'à au moins 1 mètre de profondeur, les rendent spécialement aptes aux cultures arbustives (bananiers, agrumes, caféiers,...) et vivrières. Les levées principales se reconnaissent aisément à cette végétation "d'oasis" au milieu des casiers rizicoles. Les hameaux et les pistes y sont situés.

L'agriculture de contre-saison sans irrigation n'est pas possible. La nappe descend à plus de 150 cm en saison sèche, et sa remontée capillaire est donc perturbée par des couches sableuses riches en quartz.

IV.6.3.3. LES ALLUVIONS A TEXTURE LIMONO-MICACEE DOMINANTE (UNITE 46)

Les "baibohos" limono-micacés "rose" sont les alluvions les plus importantes, en étendue et en intérêt agricole, des plaines d'épandages sub-actuels.

Les plus importants de ces "baibohos terminaux" sont localisés par ordre d'importance :

. au Sud : plaines de l'Ilakana, de la Sasomangana, de la Lohafasika - Ouest, (ces 3 dernières étant les plus importantes), du Maningoro-Ranofotsy, de la Lohafasika - Est et de la Mavolava (affluent de la Sahabe)

. au Sud-Est et à l'Est : plaines de la Mananamontana, de la Menaloha, d'Andreba, de l'Andrangorona. Tous ces baibohos forment des avancées coniques se terminant dans les eaux libres (à "Zozoro" ou sans) de l'Alaotra.

. à l'Ouest : les "petits" baibohos de la Sahamilahy, de l'Ampasimena et de l'Asahamena (2 baibohos "coalescents"), de la Behangitra, de la Bemarenina, de l'Imamba, de l'Ampasika, de l'Ivakaka, de la Sahamamy, et enfin de l'Anony.

Les caractéristiques granulométriques des matériaux sont liées à leur mode de mise en place, en position d'extrême aval des réseaux hydrographiques sur les niveaux de base terminaux. Après les graviers (unité 41) et les sables (unités 42 et 47), ce sont maintenant les dernières classes granulométriques, limons et limons argileux micacés, qui se déposent. Ces dépôts limoneux dominants s'accompagnent, du point de vue physiographique, de l'élargissement des vallées en plaines, de la diminution progressive de la pente longitudinale de ces plaines (qui peut passer de 10 ‰ à l'amont à 1 ‰ à l'extrême aval) ; du point de vue hydrologique, ils s'accompagnent de la défluence et des changements de lit de la rivière principale, de la diminution de son encaissement, de l'étalement généralisé des eaux de débordement, de la réduction de leur vitesse donc de leur compétence.

L'épaisseur des sédiments au-dessus du substratum (matériaux moins récents) diminue d'amont (plusieurs mètres) en aval où les "baibohos" viennent mourir progressivement, en formant des langues et diverticules irréguliers divergeant en éventail. Leur extrême limite aval ("baibohos" de moins de 20 cm d'épaisseur) n'a pu être représentée sur la carte avec une grande précision, car indécélable sur les photographies aériennes ou d'après l'utilisation agricole ; nous nous sommes contentés, pour compléter nos informations directes (état de surface, sondages, canaux de drainage), plutôt que de faire des limites droites ou trop régulières que nous savons à coup sûr ni vraisemblables, ni naturelles, de représenter les terminaisons suivant leur disposition logique ; les formes et emplacements des "bavures" terminales ne sont pas exacts, mais ils sont agencés de la façon indiquée.

Les sédiments, bien qu'à *dominance limono-micacée*, de telles strates limoneuses étant effectivement ici plus fréquentes et plus épaisses qu'ailleurs, sont cependant traversés par des couches et lentilles de texture plus grossière (limon sableux micacé, sable limoneux micacé, sable micacé et quartzeux). Celles-ci sont plus fréquentes en amont qu'en aval où les alluvions s'enrichissent en argile. Une telle hétérogénéité est le résultat logique de la "*dynamique fluviale de balayage*", caractérisée par l'imbrication spatio-temporelle, de *défluent changeants*, déversant des *langues sableuses* en conditions turbulentes, de *zones dépressionnaires à décantation calme limono-micacée*, de levées limono-argileuses abandonnées, plus ou moins arasées et recouvertes au fur et à mesure de la surélévation d'ensemble de la plaine. Une telle dynamique a ainsi abouti à une intrication complexe, latérale et verticale, des couches de textures variables (mais toujours plus ou moins micacées), si caractéristiques des "baibohos".

La nature minéralogique de ces "baibohos" (kaolinite, oxydes de fer, gibbsite, quartz, mica, localement minéraux ferro-magnésiens du type amphibole) est directement corrélée avec la nature des altérites "limono-argilo-sablo-micacées" dérivées de roches acides (granites, gneiss, migmatites), ayant subi une érosion intense en "lavaka" sur les bassins versants. Ces altérites érodées ont été redistribuées en aval avec tri granulométrique longitudinal, aboutissant, en fonction de la position atteinte dans le système hydrographique, à des concentrations relatives de certaines classes spécifiques de particules. Il est probable que chaque plaine à "baiboho" présente certaines spécificités vis à vis des autres, en relation avec la lithologie particulière de son bassin versant (proportions relatives des roches, d'après leur richesse en quartz et la taille de ceux-ci, leur richesse en mica et en minéraux ferro-magnésiens). Si une étude comparative et systématique précise des baibohos entourant le lac Alaotra était entreprise, une telle analyse structurale, couplant les caractères des bassins versants et ceux des baibohos qui en dérivent, pourrait être tentée avec profit ; elle permettrait probablement de classer hiérarchiquement les baibohos suivant leur texture dominante ; les meilleurs, du point de vue propriétés hydriques et remontées capillaires, seraient alors ceux qui sont les moins riches en quartz et les plus riches en mica.

A un niveau de perception plus détaillé que celui de notre étude, chaque *plaine à baibohos* constituerait donc un système particulier, non seulement du point de vue de la granulométrie et de la minéralogie des dépôts mais aussi du régime hydrologique, du modelé alluvial, du degré d'hydromorphie des sols etc... Il y a en effet une détermination parfaite de ces caractéristiques par les caractéristiques spécifiques des bassins versants : structure géologique, lithologie "compacité" du bassin, pentes, type de modelé (proportions de 1/2 oranges, de plateaux, de bas-fonds, etc...), amplitude et densité des lavaka, couverture végétale, utilisation du sol. Ces 2 ensembles sont les 2 pôles opposés d'une même "crise" morpho-climatique actuelle, l'un "négatif" (reliefs érodés à "lavaka") l'autre "positif" (plaines à "baiboho"). A l'intérieur de ces 2 types de milieu extrêmes les modalités des composantes qui les spécifient (modelé, morphodynamique, pentes, sols, nappes phréatiques, utilisation agricole...) sont en même relation d'opposition polarisée.

Un déséquilibre des reliefs amont a entraîné une *crise* du système "reliefs convexes-plaines de niveau de base aval" ; cette crise s'est matérialisée par une destruction et une désorganisation des formes et matériaux amont et au contraire une construction et une organisation d'autres formes et matériaux en aval ; après les départs brutaux des altérites, un nouvel ordre tend ensuite à se différencier pendant le transit de ces matériaux qui se "transforment" en *alluvions* triées et stratifiées, qui elles-mêmes se déposeront plus bas, en même temps que vont se générer corrélativement des formes alluviales. Une stabilisation locale de certaines parties de baiboho (hors d'atteinte définitive des eaux et des sédiments) est corrélée avec une proportion équivalente sur le bassin de zones d'anciens lavaka actifs et maintenant stabilisées dans un nouvel équilibre. Ces processus traduisent donc la crise et le réajustement qui séparent un *ordre initial* d'un *ordre final* affectant un même matériau assemblé différemment au début et à la fin. Le degré de "fonctionnalité" du baiboho, dans son ensemble c'est à dire la fréquence et la masse de ses apports annuels est le même que le degré d'instabilité des versants sur le bassin également dans son ensemble.

Le volume des évidements occasionnés par les "lavaka" sur les "tanety" convexes est exactement égal au volume des "baibohos" accumulés en contrebas. La corrélation est parfaite, étant donné que le couple "lavaka-baiboho" est exclusif de toute autre forme. Les cas d'aussi strictes correspondances sont rares dans la nature surtout quand elles sont aussi bien circonscrites. La transformation d'un système en un autre, les formes, les "éléments" et les *interactions* qui les caractérisait sont spécifiques à ces 2 systèmes.

Du point de vue énergétique, la transformation, ici remarquablement simple, d'un système en un autre a nécessité la modification d'un rapport de forces : d'une part les *forces de cohérence interne des altérites* qui se sont relâchées dans l'évolution interne du système déterminée par un ensemble de causes (voir unité 1), et d'autre part les *forces de gravité* qui ont mis en mouvement vers le bas ces matériaux. L'*agent transporteur*, qui a opéré cette redistribution des formes et matériaux, est l'eau.

L'occasion nous semble bonne pour faire une remarque générale d'ordre méthodologique et épistémologique. Cette simplicité, due ici à l'actualité et à la rapidité de cette dynamique engendrée par des processus de surface aisés à circonscrire dans le temps et l'espace, est un exemple archétypal et "didactique" offert par la nature sur la dynamique des systèmes qui le composent ; cela se passe très souvent de cette façon, nous l'avons déjà vu dans les chapitres précédents (cf les processus de "fluage - lavage - colmatage", la formation des bas-fonds, la genèse des surfaces d'aplanissement, la formation de la "stone-line" etc...). Cependant, la plupart du temps les points de départ et d'arrivée, leur délimitation spatio-temporelle, sont moins faciles à percevoir ; ils se passent non plus sous nos yeux, mais *sur une longue période*, et le plus souvent *sous la surface*. Ces 2 raisons conjuguées, processus très lents et "occultes", donc non palpables à notre échelle humaine, inaccessibles directement et même par des dispositifs expérimentaux, sont des obstacles à la compréhension de l'évolution du paysage en tant que système complexe. C'est là qu'une bonne *analyse structurale* peut être une aide précieuse. Son but est de rechercher les lois d'organisation topologique (relationnelle et positionnelle) des "*indicateurs des processus*" qui, sont donc les *représentations* de leurs manifestations concrètes et non pas les processus eux-mêmes. La compréhension de la *structure* synchronique (actuelle) est plus aisée et plus accessible que celle du système dans la complexité diachronique et dialectique de ses processus. L'étude des *relations* entre les faits renseigne sur les processus qui les engendrent. L'analyse structurale constitue donc la marche permettant d'accéder à ce système lui-même, dans sa globalité cohérente et logique, sans qu'il soit besoin de le cloisonner artificiellement. Le cloisonnement "a priori", que ces frontières soient thématiques, disciplinaires, spatiales ou expérimentales, pour étudier séparément les processus, ne peut mener à notre avis qu'à des impasses.

Ces considérations méthodologiques d'extension générale étant faites, revenons à nos "baibohos", pour évoquer maintenant leurs caractéristiques de modelés et de sols, leur régime des eaux ; ensuite nous y sélectionnerons les faits pertinents dans l'optique de l'utilisation agricole, contraintes et facteurs favorables.

Concernant le *modèle alluvial*, les plaines à "baibohos" présentent une certaine irrégularité, à dénivellations d'amplitude métrique, résultant de leur dynamique de construction qui était activement fonctionnelle avant les aménagements pour la riziculture : en dehors des *levées principales*, qui ne sont plus "fonctionnelles", hors d'atteinte des inondations et irrigations (voir unité 45), on observe des *lits défluent*s et des *levées* qui étaient en cours de surélévation, des levées anciennes au contraire en cours de recouvrement et de disparition du fait du comblement moyen d'ensemble de la plaine ; on observe aussi des faisceaux diverticulés légèrement bombés correspondant à des ruptures brutales de levées bordant des défluent s importants ; entre tous les bombements allongés, d'amplitude latérale très variable, se trouvent de larges zones légèrement dépressionnaires qui étaient régulièrement envahies par les eaux de crues, avant que ces plaines ne soient systématiquement rizicultivées et que les eaux y soient plus ou moins maîtrisées. Les zones sans exutoire qui restent marécageuses sont occupées par des *phragmites* ("Bararatra").

A l'heure actuelle, presque partout ailleurs, le damier des rizières planées couvre les baibohos et révèle, par sa disposition (différente de celle des autres plaines), le modelé ; les parcelles sont allongées et étroites sur les flancs des bombements, orientées longitudinalement dans leur direction ; ces parcelles s'élargissent en quadrillage aéré, sans orientation dominante, dans les zones planes ou légèrement dépressionnaires. Les sites non accessibles par les canaux d'irrigation ne portent pas de rizières (cultures arbustives, cultures vivrières, villages, pistes). Des changements peuvent se produire certaines années (surtout en période cyclonale), des défluent ou cours d'eau principaux peuvent changer de cours, ou déborder de façon inhabituelle, détruisant ou ensablant des rizières.

Les sols des baibohos terminaux autres que ceux des hautes levées, ont les caractères suivants : leur couleur générale est rose à brun-rougeâtre dans la partie supérieure, devenant plus terne (beige, brun-grisâtre, grisâtre) en même temps qu'apparaissent des taches noirâtres ou rouille d'hydromorphie, en profondeur ; ils affectent un matériau stratifié, à couches alternées, limoneuses à limono-argileuses dominantes dans la partie supérieure, devenant plus sableuses en dessous. L'hétérogénéité texturale, la présence de couches sableuses imprévisibles, à n'importe quelle profondeur, sont des caractères typiques des baibohos. Un autre caractère distinctif est la richesse générale en limons (2-20 μ) et en sables fins (20-50 μ) par rapport à l'argile (0-2 μ) ; en moyenne, la répartition est la suivante : 25% d'argile, 45% de limon, 25% de sable fin, 5% de sable grossier. Toutes ces classes granulométriques contiennent des paillettes de mica, ce qui est un troisième caractère des sols de baiboho, permettant de les distinguer de tous les autres sols des plaines et vallées. Les couches de sable peuvent être composées de quartz, de mica ou d'un mélange des deux. Les sables micacés sont nettement plus favorables que les sables quartzeux pour la remontée capillaire. Les couches de sable quartzeux pur, au-dessus du plan phréatique sont ce qu'il y a de plus nefaste car ils interrompent le flux capillaire.

Ces sols limoneux sont bien structurés, très poreux, assez riches en pseudo-particules, perméables, à faible densité apparente. Ils ont donc de bonnes propriétés physiques pour l'agriculture et sont faciles à travailler. Cependant la riziculture aquatique traditionnelle avec mise en boue avant mise en eau, détruit et colmate la structure superficielle qui devient alors massive, grossière et anguleuse (fentes superficielles). Leur teneur en matière organique est faible (2 %) ; le rapport C/N est égal à 9 (bonne minéralisation, due à l'oxydation régulière et prolongée) ; la carence en phosphore assimilable est forte (moins de 200 ppm phosphore OLSEN). Dans les strates limoneuses le pH est acide en surface (5,5), faiblement acide (6 à 6,5) en dessous de 20 cm de profondeur ; la capacité d'échange est de l'ordre de 12 mé %, la somme des bases échangeables de 10 mé % ; l'humidité équivalente est de 15 à 18 %. Du point de vue fertilité globale, ces sols viennent en seconde position après les sols argilo-limoneux des alluvions actuelles issues de l'érosion de roches basiques (unités 43 et 44) qui eux sont les meilleurs des plaines.

Quant aux régimes hydrologique et hydrique, nous en avons déjà parlé à propos de la mise en place des matériaux et de la construction du modelé alluvial. Il s'agissait alors du régime hydrologique "naturel" tel qu'il existait avant que ces plaines ne soient aménagées et cloisonnées en rizières. Ce régime est maintenant partiellement maîtrisé par un réseau hydro-agricole qui répartit et canalise les eaux dans les plaines. Seules les levées hautes hors d'atteinte et les cuvettes marécageuses (naturelles ou consécutives aux aménagements) où sont confinées les eaux en excès sans exutoires, ne sont pas rizicultivées.

Les inondations, naturelles ou artificielles, s'accompagnent du relèvement de la nappe phréatique qu'elles contribuent à alimenter, logées dans les alluvions. Le contrôle de l'eau n'est pas toujours parfait ; des ruptures de digues de protection, bordant les berges des cours d'eau principaux, se produisent de temps en temps, occasionnant des recouvrements brutaux de rizières. L'irrigation artificielle des rizières est souvent perturbée en période de crue (surtout en janvier-février), par des inondations généralisées à partir des débordements des cours d'eau mal endigués. Les dégâts sont néanmoins tamponnés du fait du cloisonnement total de la plaine par la trame serrée des diguettes.

Après la fin de la saison des pluies, à partir d'Avril, la nappe d'inondation disparaît peu à peu, par descente gravitaire (en même temps que la nappe qu'elle alimente), par évaporation et, quand les diguettes sont ouvertes, par écoulement latéral dans le sens général de la pente locale (liée au modelé alluvial). Le plan phréatique descend jusqu'à une profondeur variable (0,50 à 2 mètres), en fonction de l'altitude relative du site et de la succession texturale des couches alluviales. En général la nappe se stabilise dans le substratum riche en sable situé sous les niveaux limono-micacés supérieurs.

Au dessus du niveau piézométrique, une tranche d'humidité non saturante se maintient sur une épaisseur variable. Sa dynamique assez complexe est le fait de l'intrication de plusieurs régimes qui, à un moment donné sont le fait de : la frange d'égouttage (ressuyage) gravitaire lent (propre à une certaine classe de tailles des pores et à un certain type de porosité qui seraient à étudier), située immédiatement au-dessus de la nappe descendante qu'elle suit ; au-dessus de cette frange existe une zone d'humidité "non gravitaire" qui correspondrait à la "capacité de rétention" (humidité pondérale à pF 3 à 2,5) logée dans une classe de pores de type différent ou de tailles inférieures à ceux de la classe précédente. Cette frange s'épuise par le haut (ETP) en même temps qu'elle est renouvelée par le bas où elle fait partie, avec la précédente, de la "trainée" de la nappe descendante. Surimposé à cette descente progressive du front d'humidité au champ, se produit un flux capillaire remontant, transitant dans les pores fins, et alimenté par la nappe d'eau libre. Lorsque celle-ci se stabilise en saison sèche, seule se maintient évidemment le régime de capillarité. Une culture de contre-saison sur décrue de baiboho ne peut s'alimenter en eau qu'en partie grâce à l'eau utile

du sol (capacité de rétention diminuée de l'humidité au point de flétrissement), la majeure partie devant être assurée par la capillarité. En effet dans le cas du blé par exemple, sur limon micacé homogène à 17 % d'eau utile et 1,2 de densité apparente, en supposant que son enracinement puisse exploiter 1 mètre sol; ce blé disposerait théoriquement au grand maximum, de 200 mm. Ceci en fait est peu réaliste car cela suppose que la capacité au champ de la "trainée" de la nappe soit exclusivement évapotranspirée par le blé, ce qui est pratiquement impossible ; en effet, d'une part, le blé ne peut être semé que quand la nappe est au moins à 30 cm de profondeur et d'autre part son système racinaire se développe le plus souvent moins vite que ne descend le plan phréatique. Celui-ci en effet semble descendre et se stabiliser assez vite en saison sèche, du fait de la présence d'une "semelle" sableuse en profondeur qui le draine nuisant d'aquifère fixe. Autrement dit une bonne partie de l'eau qui serait théoriquement disponible est en réalité directement évaporée avant que les racines n'acquiescent une densité et une profondeur suffisantes pour pouvoir l'utiliser. En supposant donc qu'en définitive 100 mm seulement soient disponibles à partir de la réserve facilement utilisable (2/3 de la réserve utilisable), le reste requis pour l'alimentation hydrique correcte du blé, soit environ 500 mm, devra provenir de la remontée capillaire.

Nous pensons, sans avoir démontré le fait par des mesures et observations in-situ, mais d'après notre expérience dans les bas-fonds des Hauts plateaux que, dans un limon micacé homogène, la capillarité "utile" n'accède aux racines que si pendant le cycle du blé la nappe se stabilise à moins de 1,50 mètres de profondeur et à la condition qu'il n'y ait pas de couches sableuses quartzeuses entre les racines et le plan d'eau libre. Ces conditions existent dans les baibohos limono-micacés (unité 46) mais pas partout ; le facteur aléatoire essentiel étant bien sûr l'occurrence imprévisible de lentilles sableuses. Seuls conviendront donc les sites à l'écart des bombements des levées (nappe plus profonde) et ceux qui ne possèdent pas de couche sableuse quartzeuse énaissée au dessus du plan d'eau c'est à dire, dans ces zones, à moins de 1 m20 de profondeur environ.

L'unité 46 que nous avons représentée en tant qu'homogène dans sa définition ("intitulé caractéristique"), n'est donc pas homogène à l'échelle de perception plus détaillée qui intéresse directement l'utilisateur, qui seule permettrait donc de différencier les zones aptes. Ce qu'on ne peut donc dire actuellement c'est que l'unité 46 est, parmi toutes les unités de baiboho représentées, celle qui contient la proportion la plus importante de zones aptes au blé de contre saison sans irrigation. Il n'est pas possible à notre "niveau de perception" de localiser exactement ces zones ni de donner, suivant chaque plaine à baiboho considérée, une estimation du pourcentage de "déchets". Ce serait l'objet d'une étude plus détaillée (1/20 000 par exemple). Cependant nous pensons avoir donné suffisamment d'éléments explicatifs et de critères concrets, pour que le responsable du développement puisse lui-même sur le terrain en fonction de ces indications, délimiter de telles zones.

Une dernière remarque concernant la localisation des zones aptes est relative aux extrémités aval des baibohos limono-micacés de l'unité 46, qui constituent des biseaux de recouvrement au-dessus des autres matériaux des plaines, eux-mêmes peu intéressants pour le régime hydrique de capillarité. Pour le choix des zones à blé, nous conseillons donc d'éliminer toutes les "langues" terminales indiquées sur la carte, et dont les localisations n'ont pas une grande exactitude. Nous conseillons d'éliminer également une frange d'environ 500 mètres en amont de la limite terminale des baibohos, pour être sûr que leur épaisseur reste alors supérieure à 1 mètre.

IV.6.3. 4. LES EPANDAGES SABLEUX FONCTIONNELS (UNITES 47)

Cette unité de milieu est l'équivalent activement "vivant" et changeant de l'unité 42 avec laquelle elle s'imbrique. Elle correspond aux décharges fréquentes de sables quartzeux, dans les parties amont des plaines à baibohos, aux débouchés des cours d'eau principaux. En période cyclonique, qui engendre une forte intensité des pluies, un ruissellement important convergeant rapidement vers les vallées et les effondrements actifs de pans de versants dans les "lavaka", les eaux chargées de sédiments et canalisées dans les vallées amont, débouchent brutalement (effet de "chasse d'eau") à l'entrée des niveaux de base terminaux, déversant leur charge sableuse par dessus les méandres concaves (les éléments plus fins étant véhiculés plus en aval par la nappe d'inondation).

Ces épandages peuvent changer d'emplacement périodiquement. Ceci est lié à l'évolution de la construction du baiboho, aux modifications du lit du cours d'eau (méandres, encaissement...), à l'intensité des pluies etc... Des zones anciennement actives peuvent se stabiliser provisoirement et être colonisées par des *Phragmites* (Bararatra).

Ces zones actives fonctionnelles sont situées sur les baibohos qui sont en aval des bassins dont les versants sont éventrés par des champs de lavaka anastomosés très denses et spectaculaires. Ce sont essentiellement les plaines du Sud de la région: Maningoro, Lohafasika-Ouest, Ilakana, Sasomangana, Lohafasika-Est.

Les épandages sableux indiqués sur la carte sont ceux qui existaient en 1969, date de prise de vue des photographies aériennes dont nous disposons. Il est donc possible, sinon probable, que dans le détail, en 1983 (année de la prospection), leurs emplacements aient changé.

Ces zones sont naturellement incompatibles avec toute utilisation agricole et sont donc condamnées. Elles ont cependant leur fonction dans le paysage ; elles sont fort utiles pour le maintien de conditions hydrologiques et sédimentologiques favorables dans les plaines qu'elles prolongent en aval ; en effet elles servent d'amortisseur à la force brutale des eaux ; qui y déposent la plus grosse partie de leurs sables ; après cette perte de charge, les eaux deviennent plus maitrisables, et les ensablements sont

moins fréquents. Il serait donc illusoire et dangereux de vouloir s'opposer par des aménagements intempestifs, à cette dynamique. Il y aurait des conséquences néfastes dans les rizières aval.

IV.6.3. 5. LES EPANDAGES LIMONEUX FONCTIONNELS (UNITE 48)

Les épandages actifs limoneux sont localisés sur les cônes de la Mananamontana, de la Menaloha et de l'Andrangorona ; ils se répartissent en bandes qui s'élargissent d'amont en aval, le long d'une ou deux génératrices des cônes. Ces épandages peuvent changer d'emplacement d'une année à l'autre (ceux indiqués sur la carte étaient présents en 1969, date de prise de vue des photographies aériennes) ; à long terme, ils "balayent", comme un essuie-glace, la surface bombée du cône, contribuant ainsi à sa surélévation progressive. Certaines zones, comme les levées (unités 45) ne sont plus atteintes car elles sont légèrement surélevées.

Les sédiments déposés annuellement sont des limons micacés. Les sols sont des sols hydromorphes à gley (nappe proche) ; en saison des pluies elles sont le siège d'inondations et d'apports brutaux, *empêchant toute agriculture*. En saison sèche, la nappe proche de la surface, et la bonne remontée capillaire, peuvent être *favorables à la culture de blé "de décrue" sans irrigation*. Ces zones sont cependant limitées en superficie.

IV.6.4. LES CUVETTES DE DECANTATION LATERALES A MARECAGES (UNITE 49)

Ces petites cuvettes sont associées aux grands baibohos de la partie méridionale de la région. La dynamique sédimentologique active qui balaye les plaines et grandes vallées à "baibohos" avec relèvement topographique progressif et relativement rapide, a pour résultat, en bordure de ces plaines et au contact avec les reliefs convexes ("demi-oranges" et autres) qui les bordent, de bloquer les exutoires normaux des petites vallées et bas-fonds qui les drainent. Ces petites vallées adjacentes, perpendiculaires aux vastes gouttières à baibohos, ne se rehaussent pas aussi vite que ces dernières ou ne se rehaussent même pas du tout quand il s'agit de simples bas-fonds, de sorte que leurs débouchés (50 à 500 mètres de large) sont progressivement barrés. Il se forme alors, en arrière, une cuvette marécageuse à *Cyperus latifolius* ou *Phragmites* ; qui peut remonter dans la vallée adjacente jusqu'à 1 kilomètre en amont, en affectant également les multiples culs-de-sac lobés et digitations qui sont greffés sur cette vallée à exutoire bloqué.

L'eau de la cuvette a pour origine soit les eaux de surface en provenance des bassins amont, soit les affleurements de la nappe phréatique dont la partie supérieure affleurante ne peut s'écouler, soit encore les apports par les défluent du baiboho, soit enfin, ce qui est le cas le plus fréquent par un mélange de ces 3 régimes hydrologiques.

La nature et la vitesse de la sédimentation au fond des cuvettes est la résultante de trois sources possibles : soit les débordements et les apports par les défluent qui balayent la plaine à baibohos lorsque ceux-ci passent à proximité aval des cuvettes contribuant ainsi à leur fermeture, (celle-ci n'étant pas encore totalement achevée) ; la sédimentation est alors riche en lentilles sableuses issues du déversement en petits "deltas de rupture de levée" ; soit par les arrivées de sédiments en provenance du bassin situé en amont de la vallée barrée ; si ce bassin comporte des lavaka, il y a transit de sédiments et dépôts dans la cuvette, alternant sables et particules plus fines de décantation. Enfin, si le bassin est peu érodé ("demi-oranges" stables) et si la vallée se réduit alors à un bas-fond à simple affleurement de nappe sans véritable alluvionnement, le fond de la cuvette est très peu alimenté en dépôts ; il est lentement comblé par des particules argileuse au sein de la nappe phréatique affleurant en permanence. La végétation est composée de *Phragmites communis* ("bararatra") quand les déversements sableux sont fréquents, et de *Cyperus latifolius* ("Herana") quand la décantation argileuse l'emporte. Il y a fréquemment, aux centres des cuvettes, de petits lacs permanents, très prisés par les pêcheurs. Ces lacs sont aureolés d'une double couronne de plantes aquatiques : d'abord des "Viha" (*Thyphonodorum madagascariensis*) puis, en position externe, des "zozoro" (*Cyperus madagascariensis*).

IV.6.5. LES COLLUVIONS DE PIEMONT (UNITES 50 ET 51)

La morphologie et la genèse des matériaux colluviaux s'opposent d'une part à celles des matériaux alluviaux, qui ont subi des tris granulométriques après transports sur de longues distances par les eaux de surface et d'autre part, à celles des "matériaux de fluage" qui eux résultent seulement d'un effondrement, et d'un étalement sur de faibles distances des altérites des "relief pourris" au sein d'une nappe phréatique destabilisatrice et mobilisatrice. Les colluvions sont des matériaux superficiels transportés sur de faibles distances et s'accumulant aux piémonts immédiats des versants. Ils sont issus de l'érosion, par des phénomènes de surface (ravinements ou décapages en nappe) ou par des mouvements de masse (glissements, creep) des altérations qui couvrent ces versants. Les colluvions de piémont sont alors remaniées mais non triées, malgré qu'elles puissent présenter une stratification grossière discontinue. Leurs caractéristiques sont donc étroitement dépendantes de celles des altérites des versants qui les dominent. En règle générale, en région tropicale, la mise en place des matériaux superficiels remaniés est régie par la prédominance, en fonction des conditions locales, de l'un de ces trois grands processus. Cela n'exclut pas que ceux-ci puissent à un endroit donné, se succéder dans le temps ni qu'à un endroit donné, une même altérite puisse suivant les endroits, être affectée simultanément par tous les processus. Cette différenciation est le résultat des actions différentielles soit des eaux de surface soit des nappes phréatiques en sub-surface.

Dans la région du lac Alaotra, les vrais colluvions sont assez rares. On les observe essentiellement au Nord, aux piémonts des reliefs de gabbros et de gneiss amphibolitiques, attaqués par une morphogenèse actuelle active de décapage par ravinements et de mouvements de masse des altérites

argileuses. Elles sont rares aux piémonts des reliefs convexes façonnés sur roches granito-gneissiques. Leur existence n'a été signalée (pour mémoire) que dans la région d'Ambatondrazaka.

Les glacis colluviaux de piémont présentent toujours la particularité d'empâter et d'atténuer les ruptures de pente entre les plaines aval et les versants amont qu'ils raccordent. Ce raccordement présente un profil dont la tendance est concave. Il faut cependant saisir que cette morphologie n'est pas spécifique aux glacis strictement colluviaux. Elle est aussi présente aux "racines" amont concaves et redressées des vastes glacis de fluage fonctionnels qui, spécialement à l'Ouest de la cuvette, se raccordent, suivant une "ligne d'inflexion", avec les fortes convexités des "demi-oranges". Dans ce cas très fréquent, la concavité basale des versants n'affecte pas des colluvions mais des "altérites en cours de fluage"; la genèse et la constitution de ces glacis concaves sont, nous y avons déjà assez insisté largement, très différentes. Cette remarque est importante car, une telle convergence de forme peut aisément conduire à des erreurs d'interprétation. De telles concavités constituent le type même des "unités-raccord" ayant une faible importance spatiale,

mais que l'on ne doit pourtant pas négliger car elles ont une grande importance génétique. Leur rôle dans l'articulation des unités de milieu est fondamental. Ce sont souvent des sites actifs de processus de transformations majeurs dans le paysage, dont l'analyse structurale doit tenir le plus grand compte.

IV.6.5. 1. LES COLLUVIONS A TEXTURE ARGILEUSE (UNITE 50)

Les glacis colluviaux de piémont à matériau argileux caractérisent les bas de versants des massifs de gabbros et d'amphibolites, de la région septentrionale. Ils frangent de façon irrégulière, les massifs basiques (unités 6 et 11), dont les versants en fort déséquilibre et à morphogenèse active sont découpés par l'érosion en nappe, ravinés par l'érosion linéaire, bosselés par les mouvements de masse ou "micro-étagés" par les "pieds-de-vaches" (seuls les "lavaka" y sont absents). Les matériaux issus d'une telle morphodynamique affectant les altérites ferrallitiques, rouges, argileuses et peu micacées (sans nappe phréatique) s'accumulent aux piémonts, y formant un glacis concave discontinu à pentes de 1 à 4 % et de 50 à 500 mètres de large.

Les matériaux d'accumulation ("sols peu évolués d'apport sur colluvions ferrallitiques") sont toujours d'une couleur très vive (rouge à rouge sombre), épais, très argileux (pas ou peu de sable quartzeux, pas ou peu de mica), très fortement structurés, très drainants. Aucune trace d'hydromorphie affecte ces sols avant 150 cm de profondeur, et il n'y a aucune "discontinuité" mécanique contraignante pour les plantes cultivées.

Ces sols présentent donc des qualités extrêmement favorables pour les cultures pluviales, annuelles et arbustives ; ce sont en particulier d'excellents sols à caféiers, à bananiers et à agrumes. Ils occupent cependant une faible superficie et sont pour la plupart, déjà intensément cultivés.

Leurs pentes sensibles et les difficultés d'aménages d'eau interdisent leur utilisation pour la riziculture aquatique traditionnelle. L'absence de nappe phréatique proche les rend naturellement impropres à la culture de blé de contre-saison sans irrigation.

IV.6.5. 2. LES COLLUVIONS A TEXTURE SABLEUSE A ARGILLO-SABLEUSE (UNITE 51)

Ces colluvions n'ont été localisées et cartographiées qu'aux alentours d'Ambatondrazaka, en auréole discontinue aux piémonts des reliefs convexes gneisso-migmatitiques à intercalations de cipolins.

Nous les avons indiquées pour mémoire et non de façon exhaustive car elles sont rares et peu étendues. Il s'agissait davantage d'indiquer la possibilité de leur existence davantage que leur localisation exacte. En réalité, comme nous l'avons déjà montré, les petits glacis concaves frangeant les reliefs convexes sont plus souvent des "glacis de fluage" que de vrais glacis colluviaux ; et ceux-ci sont donc délicats à différencier. Ils n'existent que dans les situations rares où les tanety sont cultivées depuis assez longtemps, c'est à dire spécialement sujettes au décapage. C'est le cas autour de certaines grosses agglomérations comme entre Ambatondrazaka et Manakambahiny.

Le glacis colluvial fait alors moins de 200 mètres de large et il présente une pente sensible de 2 à 4 %. Le matériau ("sol peu évolué d'apport colluvial"), issu du décapage des altérites sur roches acides, est de texture argilo-sableuse en profondeur, sableuse en surface (sables et micas). Sa couleur est assez terne, grise à jaunâtre, tachetée en profondeur. Le sol est donc marqué par une certaine hydromorphie (engorgement en saison des pluies), présente une structure massive et une certaine compacité. Dans la moitié aval du glacis, la nappe phréatique peut affleurer ou se maintient à faible profondeur en hivernage. Ils sont habituellement réservés aux cultures arbustives (agrumes, bananier, café) et aux cultures annuelles dans leurs parties les moins hydromorphes. Ils sont rizicultivés au même titre que la plaine aval qu'ils rejoignent. Du jardinage de contre-saison avec complément d'arrosage manuel (sourcins permanents) y est souvent pratiqué.

CONCLUSIONS SUR LA CONNAISSANCE DU MILIEU TROPICAL

L'extrême intérêt de la région du lac Alaotra du point de vue genèse et évolution du milieu physique tropical est dû au fait qu'elle englobe *d'une part* un étagement périphérique de lambeaux de "surfaces d'aplanissement" (plateaux, glacis, terrasses) hérités, correspondant à des niveaux de base successifs et *d'autre part* une vaste surface de niveau de base actuel "fonctionnelle", formant le fond sub-horizontale de la cuvette, au centre de laquelle se loge le "lac" (peu profond) proprement dit. En positions intermédiaires entre plateaux sommitaux et niveau de base central se répartissent une grande variété de modèles et sols tropicaux "humides" (demi-oranges, bas-fonds, sols ferrallitiques, sables blancs, stone line...). On a donc dans cette petite région une grande richesse de formes qu'on peut aisément mettre en relation.

Nous avons tiré un grand profit de l'hypothèse préliminaire qui consiste à poser que les conditions de genèse des surfaces perchées étaient celles que l'on peut observer actuellement autour du lac, sur la surface fonctionnelle. L'approche "structurale", qui privilégie la pratique comparative par rapport à la pratique trop analytique, et qui recherche les grands "pôles" de la dialectique spatio-temporelle organisatrice et régulatrice, nous a donné, pensons nous, dans ses grandes lignes, la clé de beaucoup de questions concernant la genèse des formes et matériaux d'altération des tropiques humides.

Une hypothèse comparable, dans les mêmes termes, pourrait être émise ailleurs dans le monde tropical. Seulement, elle ne s'est jamais imposée, car les conditions d'observations (conservation des formes et matériaux, distances) et les corrélations possibles sont (à notre connaissance) rarement aussi favorables et aussi nombreuses que dans cette région de l'Alaotra. Les conditions de vérification, de corroboration (ou de réfutation) des hypothèses sont ici extrêmement favorables, puisqu'on a, quasiment côte à côte, sans déplacements longs et coûteux pour l'observateur, tous les éléments de comparaison nécessaires entre formes et matériaux, hérités (et transformés) d'une part, actuels d'autre part.

A partir de notre hypothèse de base, nous avons pu articuler en une théorie globale, cohérente très satisfaisante de notre point de vue, les faits observés non seulement autour du lac Alaotra, mais aussi, par son intermédiaire en tant que cas particulier (par ses conditions d'observations privilégiées), dans le monde tropical en général.

Les conclusions que nous tirerons sur la connaissance du milieu tropical sont inséparables de l'exposé préalable des considérations de critique épistémologique et méthodologique, qui les ont permises.

La genèse, l'évolution et la transformation des matériaux d'altération et modelés "tropicaux humides" sur roches granito-gneissiques, c'est à dire le façonnement des "surfaces d'aplanissement", la "convexisation" des versants ("demi-oranges"), la formation des bas-fonds, la constitution de la "stone line", la pédogenèse "ferrallitique", la "plinthisation" etc..., doivent être envisagés dans une dynamique globale, comme le résultat de relations dialectiques spatio-temporelles complexes entre de multiples processus en interactions.

Nous allons résumer schématiquement cette genèse telle que nous l'envisageons.

Avant cela, il nous faut insister sur deux choses qui nous paraissent extrêmement importantes, et que l'on doit garder à l'esprit, comme arrière fond à nos raisonnements :

- l'exposé nécessairement linéaire des faits, assujetti au déroulement lui-même linéaire du langage dans le temps (parole) ou l'espace (écriture), ne doit pas donner l'illusion d'une telle succession des processus de la nature ; ceux-ci appartiennent à une *trame* dialectique irréductible à notre *chaîne* logique, thématique et disciplinaire, habituelle, ainsi qu'à toute démonstration expérimentale quoi qu'en pensent, et malgré leur dépit, nos esprits scientifiques les plus "rigoureux". Cette remarque peut sembler être une évidence, mais on a tendance à l'oublier très souvent, ce qui conduit, lorsqu'on prétend faire des "reconstitutions" génétiques et historiques, à des contradictions et des impasses, dont on ne peut sortir que par des artifices comme par exemple la mise à contribution fréquente d'événements extérieurs au système, conduisant à la perpétuation d'erreurs graves.

- la deuxième remarque est encore plus importante ; elle concerne l'appréciation du temps dans les processus naturels, et est assez délicate à exposer. Lorsqu'on s'essaie à la reconstitution des processus passés qui ont abouti aux faits observés qu'il s'agit d'expliquer et d'ordonner, on est conduit à adopter un langage métaphorique anthropocentrique pour visualiser et se représenter mentalement ces mécanismes ; nous sommes en effet dans l'incapacité, (inhérente à notre condition) de conceptualiser la temporalité et la matérialité de ces processus infiniment lents, non directement perceptibles. Il nous faut cependant nous affranchir d'un actualisme tentant, rassurant et souvent inconscient, qui nous pousse à considérer les mécanismes directement perceptibles comme étant ceux qui, supposés invariants, ont menés aux formes et caractéristiques qui leurs servent de support. Il faut éviter l'extrapolation temporelle (dans le passé comme dans l'avenir) injustifiée et dangereuse, des lois de causalité qui ne sont vérifiées (et pour cause !) qu'à notre échelle humaine et applicables qu'au découpage disciplinaire arbitraire que notre "science" a imposé à la nature.

Nous sommes malgré tout, obligé, pour qualifier des processus très lents, d'utiliser les mêmes mots que ceux que l'on utiliserait pour nommer ces mêmes processus si ceux-ci étaient suffisamment accélérés pour qu'ils se déroulent devant nos yeux. Autrement dit notre découpage actuel et empirique de la nature par le langage conditionne dangereusement ses reconstitutions diachroniques. La comparaison suivante nous fera mieux comprendre cette sujétion : lorsqu'on dit *qu'une fleur s'épanouit*, ce qu'on observe en réalité ce sont des états instantanés intermédiaires "discrets", et l'état final. Nous ne "voyons" pas réellement le processus actif et continu de l'ouverture de la fleur à partir du bourgeon. Nous pouvons cependant l'observer par un artifice qui consiste à prendre, à intervalles réguliers assez rapprochés, des photographies du bourgeon qui éclot et de la fleur qui s'ouvre, puis à passer de façon très accélérée ces vues successives sur un écran. On parle "d'épanouissement de la fleur", non pas parce qu'on "voit" le processus mais parce qu'on "sait", comment, nécessairement et logiquement, d'après les observations des stades successifs, les comparaisons avec d'autres fleurs à des stades différents, il "doit" se passer. Le terme "d'épanouissement" est un *concept dynamique* appliqué à quelque chose que nous ne percevons que *statique*, pour lequel nous ne voyons que des *états*. C'est le rapprochement mental de ces états statiques, multiples, mais insensiblement différents les uns des autres, qui nous les fait dynamiser en un *processus* continu conceptualisé par le terme "d'épanouissement".

Tout processus naturel très lent ne constitue donc pas une réalité empirique directement perceptible, mais une réalité construite. Le terme par lequel nous l'exprimons renvoie au *résultat observable du processus interprété en tant que tel*, qui en est donc sa "*représentation*". Le processus lui-même n'est pas observable, mais seulement imaginable. Quand nous parlerons par exemple de "fluage" cela ne voudra pas dire "étalement à l'état liquide" comme le mot nous y renvoie de façon naturelle (puisque il a été créé pour exprimer ce concept), mais cela signifiera que si le "film" du processus (ses infinités d'états successifs) se déroulait devant nous avec une vitesse ultra accélérée, ramenant par exemple 100 000 ans à quelques secondes, on visualiserait effectivement un fluage dans le sens habituel du mot. Les termes d'action et d'état pour signifier les "*processus supposés*" (fluage, lavage, colmatage, aplanissement, fonte, façonnement, etc..) et pour expliquer les faits de la nature sont donc *empruntés* à notre vocabulaire forgé pour notre échelle de temps qui nous permet la perception empirique ; mais leur signification s'est modifiée par le nouveau contexte temporel que nous envisageons, qui ne nous est plus perceptible. Par conséquent à chaque fois que nous parlerons de mouvements ou d'états, comme "fluage", "état visqueux", "nappe de boue", il ne faudra pas faire la confusion entre ces deux échelles temporelles et les avoir toutes 2 à l'esprit. Là encore ces considérations peuvent sembler aller de soi, force nous est cependant de constater qu'il y a là une fréquente source de malentendus. On oublie la relativité de nos observations empiriques, que celles-ci soient par perception directe ou par l'intermédiaire d'un appareillage ou par des mesures. Rien ne permet d'affirmer qu'un phénomène visible et directement mesurable n'est pas un épiphénomène engendré par un changement récent du système

en réajustement, et qu'il est la cause des formes, des matériaux et des sols qu'il affecte ou qu'il traverse ou sur lesquels il se surimpose. L'évolution d'une composante du milieu suit une logique invisible, infinitésimale mais inéluctable, qui est la logique dialectique interne propre au système auquel elle appartient et par lequel elle est liée. Autrement dit, la genèse d'une forme, d'un matériau, ou d'un sol, n'a aucune signification prise séparément : elle n'est compréhensible et envisageable qu'en la situant au sein du système global en transformation.

Or l'approche du système, son évolution actuelle et ancienne passe par l'analyse de sa structure synchronique matérialisable entre autres par une cartographie de type "morpho-pédologique". Cette structure est directement perceptible dans sa globalité, bien que constituant une réalité abstraite non palpable ; en effet cette réalité est faite de *relations* unissant entre elles les caractéristiques du milieu, représentatives elles-mêmes de leurs processus générateurs, et n'est donc pas constituée par ces processus eux-mêmes. L'analyse structurale abstraite, qui répond donc à une *logique de relations* (opposition, complémentarité,...) *spatiales et synchroniques*, permet d'approcher la dynamique du système, concret et matériel, mais irréversiblement temporel (donc inaccessible directement) dont les processus répondent à une *logique dialectique*.

Pour "démontrer" les processus de genèse du paysage, il n'est pas obligatoire, contrairement à une idée couramment admise, de vouloir les mettre directement en évidence par des expériences et des observations "ad-hoc" de laboratoire ou de terrain ; à notre avis une telle démarche est souvent illusoire. Nous pensons qu'une autre approche, non moins "rigoureuse" scientifiquement, que l'on peut qualifier "d'approche structurale globale", peut consister à démontrer la *nécessité logique* des mécanismes, qu'ils n'ont pu être autres, d'après la nature de leurs manifestations (de leurs "signatures") et surtout de leurs répartitions et de leurs *relations topologiques mutuelles dans le paysage*. Cette structure, malgré son caractère abstrait, est en fait la seule "réalité" sur laquelle on puisse travailler, dans beaucoup de cas.

L'esprit dans lequel nous formulons notre hypothèse étant rappelé, cette hypothèse est résumée par l'ensemble des propositions suivantes :

1/ les "surfaces d'aplanissement" sur socle cristallin, observées dans les régions tropicales, peuvent s'être formées en conditions de climat humide et probablement forestières.

Elles ne sont pas exclusives, loin de là, (mais comme on l'admet trop souvent), des climats contrastés sub-arides à faible couvert végétal, à pluies agressives, où les actions mécaniques des eaux de surface sont prédominantes.

2/ Ces "surfaces" se sont formées en affectant des altérations profondes et jamais des roches ; leur genèse met en oeuvre non pas des *actions externes* des eaux de surfaces, mais des mécanismes profonds internes aux altérites elles-mêmes, dont l'agent destabilisateur et en partie mobilisateur est la nappe phréatique qui les imbibe.

3/ Cette destabilisation affecte progressivement le coeur des reliefs qui, par altération hydrolytique profonde engendrant la création d'un réservoir aquifère, lui-même accélérant encore l'hydrolyse (suivant un processus rétroactif positif), se "pourrissent" complètement de l'intérieur, perdant tout noyau dur, donc toute armature protectrice. Ces "reliefs pourris" sont alors en équilibre instable.

4/ La baisse du niveau de base en aval (creusement d'un seuil, baisse du niveau des eaux, influence tectonique...) active l'aspiration et le flux latéral des nappes. Cela a pour conséquence *d'une part* d'augmenter leur pente hydraulique et leur "compétence" (force d'entraînement mécanique latéral et action de "lavage" sur les altérites), et *d'autre part* d'accélérer l'élimination des produits d'hydrolyse, puis par le renouvellement de ces nappes et la diminution corrélative de leur concentration ionique, d'activer encore davantage cette hydrolyse.

5/ Les forces de gravité s'exerçant sur une masse considérable d'altérites (plusieurs dizaines de mètres) ayant elles-mêmes, par hydrolyse des minéraux (et avant néoformation de kaolinite), perdu toute cohérence interne, s'ajoutant au changement d'état (état solide à état semi-fluide) de ces altérites, font qu'au delà d'un certain "seuil" d'approfondissement des altérations, l'édifice qui sous-tendait les reliefs s'affaisse et flue lentement par sa base gorgée d'eau.

Les nappes, donc après leur action destabilisatrice ayant préparé le matériau, jouent alors un rôle important dans la mobilisation de ces altérites, majorant celui de la simple pesanteur.

6/ Par ce processus de "fluage régressif" très lent des altérites, les versants, qui prennent un profil convexo-concave, reculent parallèlement à eux-mêmes ; ils finissent par "fondre" littéralement par tous les côtés (le fluage devenant alors centripète), au profit du déploiement de la "surface d'aplanissement" en formation qui coïncide alors avec le niveau de base général des nappes phréatiques et des eaux de surface.

7/ Les altérites redistribuées en "nappe de boue" argilo-sableuse non triée ni stratifiée, sont en partie évacuées vers le niveau de base terminal par les eaux de nappes affleurantes et mobiles, suivant des gouttières d'écoulement préférentiel ; l'autre partie, toujours entraînée par la frange supérieure de la nappe phréatique mais cette fois avec une moindre compétence, "coulisser" vers l'aval (mais sans grand déplacement), sur un plancher d'altérites en place restées plus cohérentes ; ces dernières n'ont pas été atteintes par la destabilisation car elles étaient noyées par la partie profonde *peu mobile* de la nappe phréatique donc non sollicitées, étant déjà au niveau de base, ni par la pesanteur ni par le drainage latéral.

7/ Une telle dynamique mettant en oeuvre des mécanismes de natures différentes en interactions et rétroactions, a conduit à la répartition suivante des matériaux d'altération, toujours au sein de la nappe phréatique :

- *formation d'une "couche de recouvrement"* (ou "couche de fluage" ou de "coulisage") de 1 à quelques mètres d'épaisseur, homogène, de teinte grise, hydromorphe, de texture argilo-sableuse, à sables quartzeux grossiers (et souvent à graviers) mais sans cailloux, à argile kaolinique. L'absence de tri granulométrique et de stratification indique que ce matériau n'a pas

été mobilisé par des eaux de surface. Il ne s'agit donc pas de colluvions ni d'alluvions mais d'un "matériau de fluage" (un nom spécifique reste à lui trouver), mobilisé très lentement vers l'aval au sein d'une nappe saturante à flux latéral. Cette argile sableuse évoluera par la suite en "sol ferrallitique" en même temps que se produiront le défoncement de la surface de niveau de base et le drainage des nappes.

- formation éventuelle d'une "stone line" : lorsque la couche supérieure argilo-sableuse en déplacement latéral contenait des cailloux de quartz (résidus des filons), ces cailloux, sous l'action de leur poids et de la force latérale d'entraînement au sein de la nappe "boueuse", se sont progressivement concentrés et étalés à la base, au contact avec la zone d'altération non remaniée restée plus cohérente, en une "nappe de gravats" ou "stone line". Une telle genèse de la "stone line" ne nécessite donc pas l'existence antérieure d'un "pavage d'érosion superficiel" (qui aurait ensuite été recouvert par des colluvions) tel que l'exigent d'autres théories.

- au-dessous de la stone line réelle (continue ou discontinue) ou "virtuelle" (si aucun filon quartzeux, ni concrétions ferrugineuses n'existent à l'origine il ne peut évidemment pas se former de stone line), l'altération qui n'était pas "fluante" a cependant parfois été légèrement déplacée, sur 1 ou 2 mètres d'épaisseur ; cette translation en masse vers l'aval, peu perturbante pour les structures lithologiques, se traduit alors par un léger *inflexionnement des filons de quartz*, "fauchés" et démantelés par la nappe de fluage ; ces filons fragmentés sont d'autant plus incurvés qu'ils se rapprochent du "plan de cisaillement", et de la stone line qu'ils ont nourrie. Cette zone d'altération, non ou peu déplacée, "raclée" par la nappe coulissante supérieure a conservé des minéraux primaires (micas en particulier) et la structure originelle de ses roches et minéraux actuellement "pourris". Son évolution postérieure dépendra du mode de rabattement de la nappe phréatique qui l'accompagne.

9/ Cette évolution postérieure, consécutive à la baisse du niveau de base, doit être envisagée au sein d'interactions dialectiques entre : incision par les eaux de surface, dynamique de la nappe phréatique, évolution du modelé et transformation des matériaux, mécanismes qui se conditionnent, se nourrissent ou se ralentissent les uns les autres :

10/ La baisse des nappes et l'incision linéaire par les eaux de surface à partir du nouveau niveau de base, engendrent une dissection régressive des altérites et un *défoncement de la "surface d'origine"* déjà profondément altérée ; il se forme des *convexités* (1/2 oranges), par "creep" (glissement par reptation) des altérites sur les versants menant aux vallées. Ce creep est d'autant plus actif que la pente (donc la convexité) est plus forte ; la convexité ne fait donc que s'accroître en bas de versant avec l'approfondissement de l'incision ; cet enchaînement de mécanismes en autocatalyse ("feed back" positif) se poursuit jusqu'au moment du recouplement de la nappe phréatique par l'entaille linéaire ; le profil transversal

de la vallée change alors d'aspect ; il y a fluage basal des versants, étalement et évacuation de leurs altérites en "nappe de boue", formation d'un fond plat ; le "bas-fond", ainsi façonné, n'est donc pas un niveau d'ennoyage de vallée, mais un "raclage" direct de l'altérite arenacée, "lavée" par les écoulements phréatiques. L'arrêt de l'élargissement latéral du bas-fond est conditionné d'une part par la structure et la lithologie différentielles du socle, d'autre part par le rapport d'équilibre des "forces" en présence (maintien des altérites sur les convexités, rabattement de la nappe, recoupement du versant suivant un certain angle conditionnant la pente hydraulique et le flux, donc la "compétence", de cette nappe sur le fluage des altérites qu'elle imbibe etc...). On aboutit ainsi, lorsque la lithologie du socle est relativement homogène, à un moutonnement de demi-oranges séparées par des bas-fonds plats, dominé ou tangenté par des "plateaux", ou "glacis" (ou reliques de "surfaces d'aplanissement"), héritages de la surface de niveau de base d'origine, avant son défoncement par convexisation généralisée. Les discontinuités et différences lithologiques du socle, qui se traduisent par des retards et "imperfections" différentielles dans les processus précédents expliquent l'irrégularité des aplanissements et de la convexisation, la mise en relief de protubérances puis de "reliefs résiduels". Il est évident que le processus complexe de "fluage régressif", différentiel suivant le type de roche affecté, rend parfaitement compte des surfaces d'aplanissement non rigoureusement planes et pouvant même montrer des paliers étagés contemporains.

11/ En même temps que cette morphogénèse se développe, les sols et matériaux se transforment aussi. Leur évolution à partir de matériaux "hydromorphes" noyés par la nappe phréatique, est commandée par le drainage de cette dernière ; le matériau de recouvrement argilo-sableux, qui était grisâtre et hydromorphe, change de couleur par oxydation du fer puis déshydratation progressive de ces oxydes de fer ; il vire au jaune, à l'ocre ou au rouge suivant l'intensité et la durée de la déshydratation et suivant la teneur en fer de la roche initiale. Ce matériau a perdu, depuis sa mobilisation et son lavage par la nappe, lors de sa mise en place, toute trace de minéraux primaires. Il ne peut donc s'y passer de transformations minéralogiques importantes. Le drainage excessif peut cependant dégrader une partie de ces kaolinites et libérer de l'alumine.

Le matériau non (ou peu) déplacé de la zone d'altération sous-jacente au matériau de recouvrement peut évoluer sensiblement, suivant la dynamique de rabattement de la nappe phréatique :

- Lorsque celle-ci descend irrégulièrement, par oscillations saisonnières, on observe une "plinthisation" (marmorisation due à la redistribution du fer, sous forme de marbrures rouges) ; cette plinthite est alors susceptible de s'indurer par la suite en carapace ou en cuirasse ferrugineuse. La plinthitisation accompagne l'argilification et la genèse de kaolinite, favorisées par les alternances d'engorgement et de drainage.

- Lorsque la nappe descend régulièrement, sans fluctuation, l'argilification et la redistribution du fer par la marmorisation ne se font pas ; la zone d'altération a conservé des minéraux primaires et une teinte rosée. On a alors, cas fréquent à Madagascar, une couche supérieure colorée kaolinique homogène sans cailloux, reposant directement sur une stone line puis/ou sur la roche pourrie, sans l'intermédiaire, si fréquent en Afrique que constitue la *plinthite*. Cependant la périphérie du lac Alaotra, par rapport à ce qu'on observe le plus souvent sur les Hauts Plateaux Malgaches, fait exception, une zone tachetée plinthitique meuble étant alors systématiquement présente sous la "couche de recouvrement" des reliques des surface d'aplanissement. Dans cette région en effet, les rabattements des nappes se sont fait par paliers successifs liés au creusement irrégulier du seuil du Maningory, entrecoupé de longues périodes plus stables à fluctuations saisonnières verticales, favorables à une telle marmorisation.

Les transformations génétiques du milieu tropical sont davantage prédéterminées par la logique interne du paysage-système que soumises à une "causalité" aléatoire d'origine extérieure, comme par exemple les changements climatiques; ceux-ci en particulier, comme nous l'avons montré ne sont pas à l'origine systématique des "aplanissements tropicaux". C'est une conclusion d'ordre général que nous considérons comme très importante.

Nous avons vu, en effet que l'évolution du modèle tropical humide sur roches cristallines est très étroitement associée et conditionnée par les *processus internes* se passant au sein des reliefs au fur et à mesure de l'approfondissement de leur altération donc de la constitution d'une réserve aquifère, puis de la destabilisation progressive corrélative de la cohérence interne de ces reliefs "pourris". Les actions des eaux externes ne sont directes que lors de l'incision et de la convexisation corrélative des reliefs par l'intermédiaire d'une reptation sub-superficielle. Les surfaces d'aplanissement proprement dites ont pour agent, par l'intermédiaire de leur action de fluage des altérites, les nappes phréatiques qui induisent une fonte des versants. Il est vrai cependant qu'une partie de ces matériaux flués est évacuée en nappe "boueuse" (homogénéisé par le filtre végétal) par les eaux de surface, ~~mais~~ celles-ci constituent des affleurements de nappe.

Nous espérons donc avoir montré clairement qu'il est absolument impossible de dissocier genèse des modèles et matériaux d'altération, dynamique des nappes phréatiques et eaux de surface, dans les enchainements de processus en cause. Plusieurs processus se nourrissent mutuellement, s'autocatalysent ou se freinent. Les transformations sont continues et globales, elles intéressent simultanément toutes les composantes du système.

Dans le même esprit, nous avons vu, dans l'étude des plaines du niveau de base "fonctionnel" de la cuvette du lac Alaotra, que, de la même manière, plusieurs processus actuels étaient aussi en interactions, en particulier le *lavage* amont et le *colmatage* aval, deux processus corrélatifs et antagonistes mais qui ne vont pas l'un sans l'autre (bi-polarité inséparable comme les 2 faces d'une médaille), et qui finissent par se superposer. Le couple "lavage/colmatage" peut également changer de valeur en fonction de la profondeur du matériau et des flux latéraux différentiels de la nappe phréatique qui l'affecte. Au total, au niveau spatio-temporel global, ces processus peuvent annuler leurs effets ; un site amont lavé est destiné en effet à se trouver plus tard dans une situation aval et donc à être recolmaté, au fur et à mesure que "fondent" par fluage régressif les versants périphériques. A ces 3 processus liés et conditionnés les uns par les autres *fluage*, *lavage* et *colmatage*, peut s'en ajouter un quatrième, en extrême aval de la cuvette, *l'accumulation alluviale argileuse* proprement dite (en dehors de celle des alluvions fluvio-lacustres des cônes de déjection deltaïques) qui peut alors, dans ce contexte, être considérée comme une "extériorisation" du colmatage; en effet, les particules argileuses véhiculées par la nappe phréatique circulante qui affleure en une lame d'eau libre épaisse au centre de la cuvette, sédimentent en milieu lacustre au lieu de colmater le sable comme cela se passait plus en amont. De toute façon, une fois que le sable est complètement colmaté et fermé à tout nouveau piégeage d'argile, les nouvelles arrivées d'eaux chargées en particules n'ont plus d'autres possibilités que d'affleurer et de déposer leurs argiles en formations alluviales superficielles.

De l'analyse de ces processus, émerge une conclusion très importante concernant cette fois la genèse proprement dite de la cuvette de l'Alaotra : celle-ci n'est pas pour une grande partie des matériaux qui la forment, et malgré les apparences trompeuses induites par sa quasi parfaite horizontalité, d'origine alluviale, au sens habituel du terme. Nous avons vu en effet que tout l'"anneau périphérique" de la cuvette et probablement le substratum sous-alluvial de la partie centrale elle-même étaient constitués d'un "matériau de fluage régressif", issu de la simple redistribution sans tri granulométrique (sinon des processus de lavage/colmatage) des altérites étalées des versants convexo-concaves, ayant "fondu" sur le niveau de base général, contribuant ainsi à élargir ce dernier. Seule la partie centrale de la cuvette possède une certaine épaisseur d'alluvions proprement dites (triées et stratifiées). En corollaire à cette genèse des aplanissements et des matériaux qui les constituent, la "tectonique" (autre facteur extérieur "providentiel" et opportuniste, au même titre que le climat" !) pour expliquer la cuvette de l'Alaotra encadrée dans un "Rift" préexistant (Mangoro) lui-même indiscutablement d'origine tectonique, n'est plus une hypothèse nécessaire. Nos investigations nous ont montré que la tectonique était pourtant intervenue effectivement, mais pas de façon générale et exclusive comme on le pensait : elle n'a affecté, de façon dissymétrique, que la partie Sud Orientale de la région. Cet accident "post Rift",

probablement d'âge quaternaire ancien (le rift du Mangoro étant tertiaire), a servi de déclencheur à tous les processus concourant au fluage régressif et à la fonte différentielle des reliefs, avec évacuation de leurs altérites et aplanissements; l'élargissement de ces aplanissements, guidé ou perturbé localement par la nature litho-structurale du socle (valeur variable du rapport "altération/fluage"), a progressé vers l'Ouest à partir d'une faille probablement unique (malgré des décrochements) ; autrement dit la cuvette de l'Alaotra ne résulte pas de l'effondrement d'un compartiment entre 2 failles sub-parallèles ; il ne s'agit pas d'un second rift. Il est ainsi parfaitement explicable que les bordures Ouest et Sud de la cuvette ne montrent pas de morphologie tectonique. Les alignements nombreux qu'on y voit sont, dans tous les cas, des rides armées de lames de granite.

Le rôle de la tectonique n'est donc pas directement déterminant dans la formation du "fond plat" de la cuvette (on ne voit d'ailleurs pas comment il pourrait l'être), pas plus que l'envoyage par alluvionnement n'est déterminant et explicatif pour ce fond plat. C'est la dynamique de creusement du seuil du Maningory qui a déclenché par paliers, des rabattements successifs des nappes phréatiques, avec tous les processus centrifuges intercorrélés que nous avons décrits précédemment, qui ont engendré l'évidement et l'aplanissement. A notre avis, la plaine de Tananarive et beaucoup d'autres plaines sur les Hautes Terres Malgaches, ont une origine très comparable, mais dans un "contexte" non tectonique, ce qui a été un obstacle, jusqu'à présent, à une telle comparaison et un tel jugement possible sur leur genèse commune.

CONCLUSIONS ET SYNTHESE

SUR LES POSSIBILITES DE MISE EN VALEUR DU MILIEU

L'extrême diversité des types de milieux recensés autour du lac Alaotra, la façon dont s'organisent et se répartissent les unités de paysage, les relations mutuelles qu'elles entretiennent, le contexte socio-économique dans lequel elles s'inscrivent, conduisent à une même diversification concernant les appréciations des aptitudes agricoles.

Ces aptitudes ont été évaluées suivant un ensemble de critères qui sont d'ordre, non seulement pédologique, mais aussi hydrologique, topographique, topologique et morphodynamique (sensibilité à l'érosion) combinés. Les ordres où sont sélectionnés les facteurs pertinents (contraintes et avantages) relatifs à l'utilisation agricole, ne sont pas les mêmes et n'ont pas la même importance hiérarchique dans chaque unité de milieu. Ainsi, en plus de l'ordre *pédologique*, c'est l'ordre *hydrologique* qui, pratiquement, nous intéresse le plus dans les "plaines centrales", alors que ce sont plutôt les composantes *topologiques*, *topographiques* et *morphodynamiques* qui déterminent les aptitudes des "zones hautes" *périphériques*.

Les facteurs d'appréciation globale tiennent compte de la *valeur absolue* et de la *valeur relative* des contraintes et facteurs favorables. La première dépend exclusivement des caractéristiques *intrinsèques* du type de milieu considéré ; la seconde, plus subtile et au moins aussi importante que la première, qu'elle module, se réfère au *contexte socio-économique régional* ; elle tient compte, des priorités de mise en valeur des unités comparées les unes aux autres, du type d'agriculture envisagé ou présumé (type de riziculture, mode de faire valoir, type de mécanisation, taille des exploitations...). Les jugements sur les aptitudes doivent aussi tenir le plus grand compte des *conditions*, *d'acceptabilité* par les structures des milieux humains concernés, qui peuvent être différentes suivant les endroits.

Enfin, les propositions d'utilisation agricole, non seulement doivent envisager ce qui existe et ce qui est réalisable à l'heure actuelle, mais doivent aussi, dans la mesure du possible, intégrer les *prévisions* sur l'évolution et la conservation du milieu. Il ne suffit pas d'exploiter, il faut conserver et si possible améliorer. Un aménagement adéquat de l'espace doit utiliser au maximum les caractéristiques favorables de ce dernier et non les contrarier ; il doit préserver le capital sol et le capital eau. Un aménagement doit être "responsable" c'est à dire que les implications des modifications de milieu doivent être envisagées non seulement sur le site à aménager et à court terme, mais aussi dans ses conséquences plus lointaines sur les régions *périphériques* à moyen et long terme. Nous avons suffisamment insisté, au cours de cette étude, sur les liens vitaux qui unissent les unités de paysage et sur les contre-coups, pouvant altérer l'ensemble ou une partie du système, de modifications locales du milieu. Les changements artificiels, lorsqu'ils affectent un milieu en équilibre instable, peuvent déclencher des processus irréversibles qu'on

ne peut alors plus stopper. Nous pensons, en particulier, aux protections anti-érosives adéquates sur certains types de milieu, au drainage des zones tourbeuses, à la destruction inconsidérée des cypéracées et de la "tourbe flottante" (tampon amortisseur de la dynamique lacustre) du marais central, engendrant la possibilité d'un reflux du lac vers les aménagements antérieurs, etc... Nous profitons de l'occasion pour signaler les conséquences importantes (probablement autant désastreuses qu'utiles) qu'entraînerait le "déroctage" du seuil rocheux au niveau de l'exutoire du Maningory. Une étude transdisciplinaire sérieuse, donc autre que strictement technicienne et locale du site, sur l'évolution prévisible de l'écosystème amont, c'est à dire sur l'ensemble de la cuvette et de ses bassins montagneux périphériques, sera absolument indispensable avant toute décision. A notre avis, il est très imprudent de vouloir tout faire pour "récupérer" le maximum de terres agricoles aux dépens des marais ; ceux-ci ont leur rôle dans l'équilibre du système et sur les caractéristiques favorables des unités qui le composent ; il ne faut pas vouloir être trop gourmand ; il est grand temps de stopper la progression vers le centre de la cuvette ; il vaut mieux concentrer les moyens sur l'amélioration, l'intensification et l'entretien des zones déjà aménagées.

Les conclusions sur la valeur du milieu physique de l'Alaotra intéressent deux grands ensembles fondamentaux qui doivent être nettement séparés :

- les "zones hautes" périphériques à la cuvette, inaptés à la riziculture aquatique traditionnelle

- les "zones basses" centrales de la cuvette, plaines et vallées du niveau de base terminal, réservées en priorité à la riziculture aquatique aménagée, et pour lesquelles on nous demandait également de préciser et de localiser les possibilités de culture de blé en contre-saison.

I. LES ZONES HAUTES

Elles englobent des types de milieux très différents que nous avons précédemment répartis en "modèles de dissection", "niveaux de base anciens" et "niveaux de base récents". Pour clarifier les choses, on peut d'abord résumer séparément les classements relatifs de ces zones hautes, suivant 3 points de vue : pédologique, topologique, morphodynamique. Ensuite nous ferons un classement synthétique global.

1. Le point de vue pédologique

Il fait intervenir les facteurs de fertilité globale des sols : propriétés physiques (profondeur utile, structure, granulométrie, porosité, compacité...), propriétés chimiques (pH, capacité d'échange...) et hydriques (capacité de rétention en eau, engorgements) ; il prend en compte également l'aspect "hétérogénéité sur de courtes distances" qui est un caractère dépréciatif certain. Les unités de milieu se classent alors, en fonction de la qualité décroissante de leurs sols, de la façon suivante :

1.1. "les sols rouges" développés sur gabbros et basaltes (unités 6, 14, 13)

Ce sont les sols ferrallitiques les moins défavorables de la région ; ils sont très argileux, très profonds, parfaitement drainés ; ils sont également, moins acides, mieux structurés et relativement plus riches (CEC = 7 à 8 mé%, pH = 6 à 6,5) que les sols sur roches quartzeuses. Leur capacité de rétention en "eau utile" est de 7 à 10%. Ces sols couvrent les reliefs situés au Nord de la cuvette (unité 6 et unité 14) ; on peut leur adjoindre pour mémoire les sols du volcan basaltique d'Amparafaravola (unité 13).

1.2. les "sols rouges" développés sur amphibolites et gneiss à amphibole (unités 11 et 12) :

Ces sols ferrallitiques argileux, très structurés, profonds et très bien drainés, sont également parmi les plus intéressants des reliefs de la région. Ils sont cependant légèrement dépréciés par rapport aux précédents, sur gabbros, car ils sont un peu plus riches en sables quartzeux, ils possèdent un pH légèrement inférieur (6) et une capacité d'échange également plus faible (5 mé%). Leur capacité de rétention en "eau utile" est de l'ordre de 5 à 7%. Ces sols occupent les "reliefs orientés" (unité 11 et unité 12) qui, au Nord-Est et à l'Est, dominent la cuvette.

1.3. les "sols rose ou ocre/rose" des convexités en "demi-oranges" sur gneiss et migmatites (unités 9, 10, 15)

On arrive, à partir de maintenant, sur roches "acides" quartzeuses, à un niveau de fertilité nettement inférieur aux précédents. Ces sols ferrallitiques sont argilo-sableux, riches en sables quartzeux grossiers, massifs, acides (pH 5 à 6), à faible capacité d'échange (moins de 5 mé%), à faible capacité de rétention en "eau utile" (5%). Ces sols occupent de grandes superficies (spécialement à l'Ouest) sur les convexités reliant les surfaces planes perchées et les niveaux de base actuels. Ils sont légèrement plus intéressants que les sols ocre ou jaune des surfaces planes perchées car, du fait de la genèse différente du modelé qu'ils couvrent ils ont été moins soumis au "lavage" par les nappes phréatiques que les premiers. D'autre part, la zone d'altération, encore riche en minéraux primaires (micas), y est souvent plus proche de la surface.

1.4. les "sols ocre/rose" des convexités sur migmatites armées de lames de granite (unités 7 et 8)

Ces sols ferrallitiques sont dépréciés par rapport aux précédents car ils sont plus riches en sable quartzeux (texture limono-argilo-sableuse) dont plus compacts, à réserve en "eau utile" encore moindre ; le pH (5,5) et la capacité d'échange sont comparables. Ils occupent essentiellement les "reliefs orientés" du Sud de la région.



1.5. les "sols ocre" des plateaux sommitaux anciens
(unités 16 et 17)

Ce sont des sols ferrallitiques riches en sable quartzeux, limono-sableux à limono-argilo-sableux peu structurés et massifs mais filtrants, sans traces d'hydromorphie ; du point de vue fertilité ces sols sont très proches des précédents, mais ils ont été, semble-t-il, davantage "lavés" que les précédents (pH 5 à 5,5, capacité d'échange de 3 mé%). Leur capacité de rétention en "eau utile" est très faible (2 à 5%).

1.6. les "sols jaune" des glacis-terrasses anciens (unités
18 et 19)

Ces sols ferrallitiques, occupant de vastes superficies au Sud et au Sud-Ouest de la région, sont assez proches des précédents. Cependant, en plus d'une couleur d'ensemble plus terne (jaune plutôt qu'ocre), ils sont généralement plus sableux (texture limono-sableuse) et à plus grande fragilité structurale ; ils sont peu structurés (mais très filtrants cependant), massifs, poussiéreux en surface ; leur pH est aux alentours de 5, leur capacité d'échange est inférieure à 3 mé% ; leur capacité de rétention en "eau utile" est inférieure à 3% ce qui est extrêmement faible.

1.7. les "sols gris/jaune" des terrasses récentes (unité 20)

Ce sont des sols "ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes" (qu'on peut aussi bien appeler "ferrallitiques lessivés hydromorphes" ; cette nomenclature soit disant "génétique" n'a pas grande signification), de teinte grise en surface, jaune en profondeur, à taches d'hydromorphie à partir de 1 mètre. Par rapport aux sols précédents, ces sols ont été davantage "lavés", ils sont affectés par une certaine hydromorphie et ont un drainage peu rapide en hivernage ; ils sont plus massifs et plus sableux en surface (texture sablo-limoneuse). Ces sols sont localisés sur les terrasses proches du seuil du Maningory.

1.8. les "sols gris tachetés" des glacis-terrasses récents
(unité 21)

Ici, on est encore à un niveau en-dessous, du point de vue qualité et fertilité ; il s'agit cette fois de véritables sols hydromorphes, pouvant être engorgés jusqu'en surface ; ils sont encore plus pauvres que les précédents, plus sableux (sablo-limoneux), plus compacts. Leur pH est compris entre 4,5 et 5. Ils occupent une faible superficie, sauf à l'Ouest d'Ambohijanahary.

1.9. les "sols à sables blancs" des terrasses récentes
(unité 22)

Nous sommes ici au pôle opposé à celui des plateaux sommitaux (unités 16 et 17). Les "sables blancs" ("pseudo-podzols de nappe") occupent en effet les situations les plus basses parmi les niveaux de base inactuels. Ces sols sont ultra "lavés", très sableux, hydromorphes, à pH très acide de 4 à 4,5, à capacité d'échange inférieure à 1 mé%, à très faible capacité de rétention en eau. Ces sols ne sont généralement pas cultivés.

1.10. les "sols rouges hétérogènes et arènes" sur gneiss à amphibole des reliefs convexes en cours de "rectification" (unité 4)

Ces sols ferrallitiques remaniés et tronqués associés à des arènes sont très hétérogènes, peu épais, et caillouteux, ce qui leur confère une qualité d'ensemble très médiocre. Ils dominent une partie de la rive Est de la Cuvette.

1.11. les "sols rouge et ocre hétérogènes" des reliefs accidentés sur gneiss et gabbros alternés (unité 5)

Ces sols ferrallitiques, situés au Nord de la région, sont caractérisés par leur extrême hétérogénéité due à la morphogenèse active et très variée, qui façonne 2 types de roches (donc 2 types d'altérations) imbriquées de façon complexe. L'hétérogénéité non ordonnée, sur de très faibles distances, est le principal caractère dépréciatif de cet ensemble.

1.12. les "sols rouges hétérogènes et arènes" sur gneiss à amphibole des reliefs à "évolution polyédrique" (unité 3)

Par rapport aux précédents, toujours sur les reliefs orientaux, ces sols ferrallitiques et arènes imbriqués sont encore plus hétérogènes car la morphogenèse y est des plus active.

1.13. les "arènes quartzeuses" granitiques des reliefs polyédriques (unité 2)

Ces sols ("sols peu évolués d'érosion") sont les plus défavorables existant sur les reliefs ; il s'agit de sables et graviers quartzeux compacts, non structurés, à très faible capacité de rétention en "eau utile" ; ils sont inutilisables.

En conclusion, aucun de ces sols ne possède une bonne fertilité chimique ; ils sont tous acides et désaturés. Ils sont en effet tous profondément "ferrallitisés" ou résultent de remaniements, fluages et lavages d'anciennes altérites ferrallitiques. Il ne peut donc pas y avoir de surprise ; néanmoins les sols sur roches basiques (gabbros, amphibolites) se distinguent par leurs propriétés physiques nettement plus favorables et leurs propriétés chimiques moins défavorables. Leur fertilité globale est donc nettement meilleure que celle des sols sur altérites granito-gneissiques et migmatitiques. Cependant, à l'intérieur de cette médiocrité, une gradation est perceptible. En particulier, sur les surfaces planes étagées, on constate que les sols sont d'autant plus décolorés, d'autant plus sableux et massifs, d'autant plus acides, lavés et hydromorphes, donc pauvres, qu'ils occupent des paliers plus proches de la plaine "fonctionnelle" du niveau de base actuel. Cette répartition, qui contredit l'affirmation courante (effectivement souvent vérifiée) selon laquelle les formes les plus récentes portent les sols les moins appauvris et donc les plus fertiles, s'explique par le fait que chaque palier correspond ici à un fluage du palier précédent et que ce sont donc toujours les mêmes altérites qui sont reprises et donc "lavées" un peu plus à chaque fois. Ainsi, des plateaux sommitaux à "sols ocre" argilo-sableux on arrive, à l'extrémité de la chaîne, en aval, aux terrasses basses à "sables blancs". Entre les deux se trouvent

des intermédiaires "jaunes" limono-sableux, "gris/jaune" sablo-limoneux puis "gris" sableux, caractères qui accompagnent une dégradation corrélative régulière de la fertilité.

Nous verrons qu'en ce qui concerne les caractères "topologiques" (taille, accessibilité, forme...) la séquence sera inversée : les unités planes les plus intéressantes seront alors celles qui sont les plus proches de la cuvette. L'aptitude synthétique sera alors à moduler en fonction de ces 2 appréciations contradictoires.

2. Le point de vue topologique

Par "topologie", extension d'un terme d'origine mathématique, nous englobons les caractéristiques qui concernent les formes spatiales et les positions des unités dans le paysage (accessibilité, éloignement, superficie, largeur, sinuosité...), ainsi que les relations, toujours dans l'espace, que ces unités entretiennent les unes avec les autres (réurrences de proximité, de contiguité, d'association, d'imbrication). Donc la topologie ne concerne pas uniquement des caractéristiques intrinsèques des unités isolées, mais aussi et surtout des caractéristiques qui ne résultent que de la façon dont elles sont associées dans l'espace. La valeur topologique d'une unité ne peut s'exprimer et avoir donc un sens que dans le contexte global où cette unité s'ordonne.

Les considérations topologiques peuvent donc modérer, déprécier, ou au contraire revaloriser les caractéristiques de stricte fertilité des sols.

En règle générale, on peut dire que plus des unités peu pentues sont vastes, proches de la plaine de l'Alaotra donc peu perchées et facilement accessibles, plus leur forme est compacte (non sinueuse, ni étroite) et plus ces unités sont susceptibles d'être regroupées avec des unités voisines (de nature identique ou différente) également peu inclinées, plus la valeur de ces unités de milieu augmente. A priori une même unité de milieu peut donc, suivant sa situation régionale avoir une valeur variable. En réalité ce sera à l'utilisateur potentiel de décider, avec ses critères propres, quelle valeur il doit exactement accorder en particulier à telle unité ou tel ensemble d'unités.

Les surfaces planes et collinaires peu pentues sont les plus concernées par ces considérations topologiques ; en effet, pour les reliefs accidentés et pentus les contraintes topographiques et d'érosion sont largement prédominantes. Sur les contraintes topologiques dont on peut alors se dispenser de tenir compte.

Ainsi, en ce qui concerne les principales surfaces étagées (niveaux de base anciens et récents) on peut dire les choses suivantes :

. les plateaux sommitaux à sols ocre (unités 16 et 17)

Bien qu'ayant une surface globale importante, les sols les moins défavorables et une topographie très adéquate, ces plateaux sont dépréciés par leur topologie : ils sont très morcelés, sinueux et dispersés ; ils sont difficiles d'accès car généralement ils coiffent des reliefs fortement convexes et pentus ; l'absence de pistes, le coût élevé de leur construction et de leur entretien découragent leur approche à partir des niveaux de base aval : en règle générale autour du lac Alaotra, ces plateaux n'ont d'ailleurs été que très rarement utilisés dans le passé pour l'agriculture mécanisée ; l'éloignement des rizières inondées dont le paysan Malgache ne peut se passer suffit à expliquer la désaffectation de ces zones par le petit paysannat également.

. les glacis-terrasses anciens à sols jaune (unité 18 et 19)

Ils sont dans des situations beaucoup plus favorables, et, malgré la médiocrité de leurs sols, sont plus intéressants que les plateaux hauts perchés. Ils forment des ensembles cohérents de grandes superficies qui se déploient et s'élargissent en même temps que leurs dénivellations avec le niveau de base diminuent. Ces étendues, surtout réparties au Sud et au Sud-Ouest de la région, sont très faciles d'accès et situées à proximité des grands axes routiers ; elles sont donc extrêmement favorables à la grande agriculture mécanisée aussi bien qu'à la petite culture traditionnelle.

. les terrasses récentes à sols "gris/jaunes" (unité 20),

Proches du Maningory, ces terrasses sont également fort intéressantes ; elles forment en effet de vastes surfaces, encore plus importantes si on les regroupe avec les glacis-terrasses à sols jaunes (unité 18) et avec les reliefs collinaires concaves à sols rouges sur roches amphibolitiques (unité 12) ; ce regroupement d'unités de paysages, en continuité topologique (absence de fortes convexités inhospitalières et "cloisonnantes"), bien qu'à sols variables, confère à la région Nord-Est du lac Alaotra (aux environs d'Andromba), un très intéressant potentiel agricole, spécialement pour les cultures mécanisées. D'ailleurs, beaucoup de ces terres étaient autrefois cultivées ; on n'en voit plus que des traces. Cette zone demanderait donc à être revitalisée, pour constituer un des pôles actuels de développement de la région du lac Alaotra, pour les cultures pluviales.

. Concernant les reliefs collinaires (unités 12 à 15)

Les mêmes considérations nous amènent à déprécier très fortement les *replats sommitaux des massifs de gabbro*, tout en formant des "blocs" de superficie intéressante, ils sont perchés dans des situations inaccessibles aux engins agricoles ; pour les atteindre, il faut traverser les massifs montagneux sur gabbros, pentus et très ravinés. Eloignés des bas-fonds, vallées et plaines à rizières, ils ne sont pas utilisés par le paysannat traditionnel.

Par contre les *collines à longs versants concaves*, sur roches *amphibolitiques* (unité 11) situées au Sud d'Andromba offrent, en plus de la bonne qualité relative de leurs sols rouges, des caractéristiques topologiques fort intéressantes ; cet avantage résulte de leur contiguité et de leur continuité par des *pentcs concaves* (donc sans fortes discontinuités topographiques) avec les unités situées en aval (unités 18 et 20) ; cette association valorise chaque unité plus que ne le font les caractéristiques propres à chacune d'elles considérées indépendamment les unes des autres.

3. Le point de vue topographique et morpho-dynamique

Les facteurs "pentes" et "érosion" sont évidemment déterminants pour la mise en valeur du milieu. Ils sont aussi à la base de la différenciation naturelle du paysage et donc du découpage "morpho-pédologique" que nous avons adopté pour sa cartographie. Du point de vue pratique et indépendamment de leurs "valeurs pédo-topologiques" respectives (voir précédemment), nous pouvons regrouper les "systèmes morpho-génétiques" de la façon suivante :

3.1. Systèmes inutilisables, pour l'agriculture

Sur ces milieux, en dehors de micro-sites très dispersés, l'érosion actuelle est généralisée et les pentes sont très fortes (plus de 30% en général). Ces types de milieu occupent les reliefs accidentés orientaux et septentrionaux de la région (unités 1 à 6). L'érosion y est naturelle, et non pas déclenchée par l'homme ; elle se manifeste sous des formes actives très variées en fonction de la nature des altérations et des sols (donc de la nature des roches) et de la forme des versants : "lavaka", ravinements linéaires, mouvements de masse (reptation, glissements en paquets, décapage en nappe etc...). L'homme ne peut intervenir pour stopper ou même ralentir ces processus. Vouloir s'opposer à la dynamique des lavaka nous semble en particulier illusoire car ce sont des processus internes aux altérites qui sont actifs et non pas des processus de surface.

Ces reliefs ne peuvent avoir qu'une valeur forestière ; les boisements se feront de toute façon dans des conditions très difficiles ; ils seraient destinés à protéger les zones aval contre la violence des arrivées d'eau et des sédiments. Il n'est pas envisageable d'en faire une production rentable.

3.2. Systèmes très difficilement utilisables pour l'agriculture.

L'érosion ici n'est pas généralisée, mais les pentes sont toujours fortes (20 à 40% en moyenne), et non régulières (cela n'exclut pas, naturellement, la présence de replats disséminés à pentes faibles). Dans cet ensemble sont groupées les unités 7 à 11. La majeure partie (unités 7 à 10) est composée de *reliefs fortement convexes* (dont les "demi-oranges") ; les convexités, contrairement aux concavités ont leurs pentes qui se redressent fortement d'amont en aval pour atteindre alors 50% ou plus. Or, c'est à partir de l'aval que démarre la mise en valeur dans la cuvette de l'Alaotra. Cela rend donc quasi-inutilisables ces reliefs, même si, en sommets d'arrondis, les pentes permettent théoriquement l'agriculture. Ces sommets sont en effet trop difficiles d'accès, leur superficie est trop restreinte, exceptées les situations où ils permettent d'élargir des plateaux voisins qui les tangentent.

Seule l'unité 11 (reliefs sur rides amphibolitiques) possède des versants à tendance concave et donc éventuellement accessibles facilement et utilisables à partir de leurs piémonts (unités 12 et 19). Leurs pentes de 20 à 30% sont cependant des contraintes suffisantes pour ne pas considérer leur mise en valeur comme prioritaire.

La "non-priorité" est un jugement assez subjectif de notre part qui est un dosage synthétique actuel tenant compte essentiellement à partir des critères de pentes et d'érosion : de ce qui est techniquement possible tout en étant compatible à la fois avec la protection du milieu et avec la motivation supposée des paysans, de l'importance des investissements (systèmes anti-érosifs et routes d'accès en particulier) que cela entraînerait, des bénéfices qu'on pourrait en tirer comparativement à ceux qu'on peut obtenir ailleurs dans de bien meilleures conditions. Dans un contexte socio-économique autre (forte pression démographique, terres totalement cultivées, autres traditions agraires, autres objectifs de production...), notre jugement serait différent.

De toute façon, ces reliefs ne seront jamais propices à une agriculture intensive mécanisée. Des boisements de protection et de production pourront cependant, contrairement aux systèmes fortement érodés précédents, se faire ici dans d'assez bonnes conditions.

3.3. Systèmes utilisables pour l'agriculture, mais non prioritaires, moyennant des aménagements anti-érosifs

Il s'agit des unités de paysages qui, pour des raisons lithologiques, géomorphologiques et pédologiques diverses, présentent un modelé collinaire sans pentes très fortes (10 à 20%) et sans érosion actuelle ; cette érosion est cependant susceptible de se manifester en agriculture mécanisée, si les protections adéquates ne sont pas prises. Cette catégorie est représentée par les unités 12 à 15 de la carte.

Des moins aux plus intéressantes du point de vue relief et érosion, nous pouvons les classer de la façon suivante :

3.3.1. Les versants convexes de raccordement entre glacis-terrasses et plaines de niveau de base (unité 15)

Le facteur relativement dépréciateur est ici la nature convexe des pentes, atteignant 20%, qui, comme nous l'avons dit précédemment, ne favorise pas la mise en valeur à partir des niveaux de base. Un méso-relief de bossèlements peut s'y superposer du fait de lents "glissements en masse" des altérites.

3.3.2. Les restes d'édifices volcaniques basaltiques (unité 13)

Les pentes, ici aussi, montrent des irrégularités (bossèlements dus à des glissements lents, chicots rocheux de basalte sain).

3.3.3. Les replats collinaires sommitaux des grands massifs de gabbro (unité 14)

Les pentes, généralement concaves ou rectilignes et inférieures à 15%, offrent ici des caractères favorables pour la mise en valeur ; l'érosion n'y est active qu'en périphérie, par l'intermédiaire de ravinements régressifs.

3.3.4. Les reliefs collinaires sur gneiss amphibolitiques (unité 12)

Ce sont les collines les plus intéressantes de la catégorie car leurs pentes, inférieures à 15%, sont concaves, longues et non ravinées. Cela facilite leur mise en valeur par une agriculture mécanisée, à partir de l'aval. D'autre part, les sols rouges qui les couvrent ont une stabilité structurale favorable ; leur mise en valeur nécessitera néanmoins des mesures préventives contre l'érosion.

3.4. Les systèmes utilisables pour l'Agriculture, sans aménagements anti-érosifs

Dans cette catégorie entrent toutes les unités de milieux à topographie plane sub-horizontale (pentes généralement inférieures à 3%), perchées au-dessus de la plaine de niveau de base actuellement "fonctionnel". Elle englobe donc les unités 16 à 22, depuis les plateaux sommitaux très hauts perchés dominant la région, jusqu'aux terrasses et glacis-terrasses à dénivelés de quelques mètres seulement.

La topographie en elle-même ne constitue donc aucun obstacle à l'agriculture. Par contre, les caractères de "topologie" y sont souvent des contraintes et opèrent, comme nous l'avons vu, une nette discrimination à l'intérieur de cette catégorie. Si les aménagements anti-érosifs proprement dits (levées, banquettes, chenaux de diversion...) ne sont pas nécessaires, par contre les techniques culturales et bio-culturales pour prévenir la dégradation physique des sols et leur décapage en nappe seront toujours recommandées.

4. Classement hiérarchique synthétique des unités de milieu quant à leurs aptitudes à la mise en valeur

De l'ensemble des considérations pédologiques, topologiques, topographiques et morpho-dynamiques précédentes, la "valeur agricole" synthétique de chaque unité de milieu inventoriée s'inscrit sur l'échelle relative suivante (par ordre de qualité décroissante) :

1. Les reliefs collinaires peu pentus sur gneiss amphibolitiques (unité 11)
2. Les glacis-terrasses nettement perchés (unités 18 et 19)
3. Les terrasses peu perchées à sols argilo-sableux "gris/jaune" (unité 20)
4. Les glacis-terrasses peu perchés à sols argilo-sableux gris ou jaune (unité 21)

5. Les plateaux sommitaux (unités 16 et 17)
6. Les terrasses peu perchées à sables blancs (unité 22)
7. La colline volcanique d'Amparafaravola (unité 13)
8. Les replats collinaires sommitaux des massifs de gabbro (unité 14)
9. Les "versants collinaires de raccordement" convexes (unité 15)
10. Les reliefs structuraux orientés et accidentés sur gneiss amphibolitique (unité 11)
11. Les reliefs convexo-concaves à pentes moyennes sur migmatites orientées armées de barres de granite (unité 8)
12. Les reliefs convexo-concaves à pentes fortes sur migmatites armées de barres de granite (unité 7)
13. Les unités sans intérêt pour l'agriculture, regroupant tous les autres reliefs : unités 1 à 6, unités 9 et 10 ("demi-oranges").

Il y a donc deux grands pôles potentiels de développement de l'Agriculture pluviale sur "tanety" dans la région du lac Alaotra :

- *la région Nord-Est* : l'arrière pays de plateaux glacis et collines, situé à l'Est de l'axe routier reliant Ambohidava au Sud à Vohimenakely au Nord, en passant par Morarano, Imerimandroso, Andromba.

- *la région Sud-Ouest* : les grandes étendues de glacis-terrasses en larges lanières perchées, situées essentiellement : au Nord de Manakambahiny, au Sud de Vohidiala, à l'Ouest et au Sud de Bejofo, à l'Est de Morarano-chrome, de part et d'autre de la route Morarano - Ambohimandroso, "presqu'île d'Ambongalava.

En dehors de cela une multitude de plateaux perchés, dispersés, sinueux, isolés au sein d'un fouillis de reliefs fortement convexes donc inhospitaliers, sont, du point de vue topographique, favorables à l'agriculture mais en réalité fortement dépréciés, à la fois pour l'agriculture mécanisée à cause de leur difficulté d'accès, et pour l'agriculture traditionnelle à cause de l'éloignement des rizières.

II. LES ZONES "BASSES"

Les niveaux de base "fonctionnels" actuels, c'est à dire marqués par des actions prolongées des eaux de surface ou de faible profondeur, occupent le vaste plancher sub-horizontale de la cuvette de l'Alaotra, ainsi que les plaines, vallées, culs-de-sac et bas-fonds qui prolongent cette cuvette en s'insinuant dans les reliefs périphériques.

Les aptitudes agricoles sont donc naturellement orientées vers la riziculture d'hivernage et vers les cultures de contre-saison (le blé en particulier). Elles sont conditionnées, avant tout, par les régimes hydriques (eaux non saturantes) et hydrologiques (eaux saturantes et eaux de surface) qui affectent les matériaux. Les caractéristiques des sols, et en partie leur "fertilité", sont assujetties à cette dynamique des eaux. La nature des matériaux, le mode de leur mise en place en fonction de leurs positions dans la cuvette, sont non moins importants dans la détermination de la qualité des sols. Dans l'appréciation des aptitudes, il est donc très difficile de séparer les parts respectives des ordres hydrologique, pédologique et "topologique", qui se conditionnent les uns les autres. A ces composantes naturelles se superposent les modifications apportées par l'homme, qui rentrent pour une grande part dans les caractéristiques actuelles du milieu.

En règle générale, et de façon tout à fait logique, mais avec des variations régionales, l'hydromorphie, c'est à dire le mode et la durée de l'inondation et de l'engorgement, affectant les matériaux des plaines autres que les "baibohos", est d'autant plus prégnante sur les caractéristiques "utilitaires" et pratiques des sols (bénéfiques ou défavorables suivant l'utilisation envisagée) qu'elle affecte ces matériaux en situation plus centrale dans la cuvette.

Quand aux "baibohos", alluvions fluviales les plus actuelles et fonctionnelles de la région, qui recoupent perpendiculairement en la recouvrant localement, "l'hydro-pédoséquence" précédente sub-concentrique au lac, ils constituent un ensemble totalement indépendant qui justifiait d'être étudié à part. En effet, l'ordonnement et la différenciation internes de cet ensemble, ainsi que les caractéristiques pertinentes des sols du point de vue de leur utilisation agricole, sont liés essentiellement au tri granulométrique (texture) des matériaux. La différenciation n'est plus dans ce cas le fait de la zonalité de l'hydromorphie en anneaux sub-concentriques au lac qui se traduit surtout par la richesse en matière organique des sols, mais le fait de la dynamique alluviale longitudinale particulière à ces alluvions (qui se traduit par des caractéristiques texturales spécifiques des sols).

Autrement dit, dans le cas des plaines hydromorphes autres que les "baibohos" c'est la *dynamique de l'eau seule, sans action mécanique directe* qui est l'agent essentiel de différenciation des types de milieu, alors que dans le cas des "baibohos" c'est la *dynamique sédimentologique fluviale donc l'action mécanique des eaux de surface* sur le transport et le tri des matériaux, qui constitue le principe pertinent de l'ordonnement des sols. Celui-ci est alors globalement perpendiculaire à la zonalité sub-concentrique précédente qui entoure le lac et qui règle les degrés d'hydromorphie des sols. Ces deux lois de répartitions sont indépendantes des points de vue des processus et du déroulement de ceux-ci dans le temps et dans l'espace, ce qui justifie tout à fait de traiter séparément les deux grands ensembles qui au niveau de leur "forme" globale se différencient également aisément même pour l'observateur assez peu "averti".

1. ZONALITE HYDROPEDOLOGIQUE ET AGRONOMIQUE "SUB-CONCENTRIQUE" DES PLAINES HYDROMORPHES AUTRES QUE LES "BAIBOHOS"

1.1. Tendances générales de la zonalité

De la périphérie vers le centre de la cuvette, les types de milieux ("baibohos" exclus) se répartissent grossièrement de la façon suivante :

1.1.1. Les sols hydromorphes non organiques (dits "minéraux") sur matériau d'origine non alluviale (sans tri granulométrique mécanique stratifié).

Ces sols, contenant moins de 6% de matière organique en surface (0-30 cm), caractérisent les "glacis-plaines de fluage" (unités 25 à 27). Ils occupent les parties périphériques les plus excentrées de la plaine, ainsi que les larges gouttières qui la prolongent entre les "tanety". Avant aménagements, ces sols, bien que totalement engorgés, n'étaient pas vraiment inondés en hivernage mais le lieu de "suintements circulants", consécutifs à la montée de la nappe phréatique. Celle-ci est animée de circulations latérales ayant favorisé les processus de lavage et de colmatage, par transfert et redistribution des particules argileuses au sein d'un "squelette sableux" stable. C'est cette dynamique même qui a spécifié les caractéristiques hydrologiques actuelles et les propriétés physico-chimiques, plutôt défavorables, de ces sols argilo-sableux (absence de structure, compacité, faible capacité d'échange, sensibilité à la sécheresse, faible remontée capillaire...), qui en font des sols pratiquement inaptes à la culture du blé en régime hydrique naturel de capillarité. Ces sols conviennent à la riziculture "aquatique", dans la mesure où ils sont facilement accessibles par des réseaux d'irrigation. Leur situation souvent excentrée, en position de piémont et dans des "angles morts" par rapport aux grandes vallées adjacentes perpendiculaires à la plaine où sont situées les retenues ou prise d'eau, les rendent dans beaucoup de cas plus difficiles à aménager, quand elles ne les condamnent pas (exemple de la plaine de Feramanga). Nous pensons de toute façon que le "niveau de fertilité" (qui doit se traduire dans les moyennes statistiques des rendements) de ces sols est plus faible que celui des sols hydromorphes minéraux sur alluvions proprement dites (cône de l'Anony).

1.1.2. Les sols hydromorphes non organiques (dits "minéraux") sur matériau d'origine alluviale fluviolacustre (à tri granulométrique mécanique stratifié).

Ils affectent les matériaux amont des cônes d'épandage de la Sahabe et surtout de l'Anony. Ces sols (toujours à moins de 6% de matière organique dans les 30 centimètres supérieurs), le plus souvent très argileux, mais régionalement à lentilles sableuses, n'ont jamais, avant aménagements, été fortement inondés et de façon prolongée dans l'année, ce qui y interdisait l'accumulation de tourbe. Par contre, ils étaient totalement "gleyifiés" et engorgés jusqu'en surface pendant au moins 6 mois par an. Ces sols alluviaux non organiques présentent une "fertilité" relativement bonne comparée aux sols plus organiques, situés en position plus aval et par rapport aux sols des "glacis-plaines de fluage", en position plus amont. Les rendements rizicoles "statistiques moyens" devraient être les plus élevés sur ce type de milieu. Ces étendues sont généralement aménagées depuis longtemps et la nappe descend actuellement à plus de 2 mètres, en saison sèche. Les sols très argileux et peu poreux ont de faibles débits de remontée capillaire "utile" et sont peu favorables à la culture de blé en contre-saison en régime hydrique naturel. Par contre, quand ils ne possèdent pas de couches sableuses, ils sont parmi les meilleurs (après les "baibohos" limono-micacés) pour la riziculture aquatique.

1.1.3. Les sols hydromorphes moyennement organiques sur matériau d'origine alluviale fluvio-lacustre

Ils sont situés en aval des précédents, essentiellement sur le cône de l'Anony et sur le PC.15. De texture très argileuse le plus souvent, localement (sur l'Anony) riches en niveaux et lentilles sableuses qui modulent et déprécient leurs aptitudes, ces sols sont nettement plus riches en matière organique (6 à 20%) ; avant leur "récupération", ces zones étaient soumises à une inondation et à un engorgement plus prolongés que les milieux situés plus en amont. Il n'y avait pas de vraie tourbe. La matière organique subissait une humification suffisante pour permettre son incorporation homogène au matériau argileux minéral. Nous ne pensons pas que ces sols dérivent génétiquement d'anciens sols tourbeux ; ils résultent plutôt d'une évolution parallèle à ces derniers, en conditions hydrologiques différentes.

Leur "fertilité" synthétique, eu égard à leurs strictes propriétés physico-chimiques, est *relativement* bonne. Cette fertilité est intermédiaire entre celle des sols alluviaux "hydromorphes minéraux" et celle des sols alluviaux hydromorphes tourbeux. En effet, la matière organique, quand elle est, comme ici, suffisamment humifiée, améliore les propriétés physico-chimiques (structure, complexe absorbant...) du support minéral ; par contre, quand cette matière organique est à l'état de tourbe, elle déprécie le sol (sol "creux", tassements irréguliers, acidité, alimentation minérale déficiente...).

En ce qui concerne l'alimentation hydrique par capillarité des cultures éventuelles de contre-saison, la bonne structure de l'horizon humifère supérieur et la position de la nappe phréatique plus proche de la surface, caractères favorables à une meilleure accessibilité par les racines de la remontée capillaire, font que ces sols présentent des avantages par rapport aux sols hydromorphes minéraux amont.

Cependant, la "fiabilité" de ce type de culture est encore très aléatoire et moins grande que sur les sols franchement tourbeux. Pour la riziculture aquatique, ce type de milieu, au même titre que l'unité précédente, convient parfaitement, tant que des couches sableuses ne sont pas présentes à faible profondeur.

1.1.4. Les sols organiques tourbeux sur matériau d'origine alluviale fluvio-lacustre

Ces sols occupent les parties aval, les plus "avancées" par rapport au niveau du plan d'eau libre (lacustre) du centre de la cuvette. Ils concernent essentiellement les parties Sud (PC. 23, S.O.R.I.F.E.M.A.) et Sud-Ouest de cette plaine de l'Alaotra ; qui ont été récupérées sur les marécages à "zozoro".

La nappe d'eau superficielle a pu être drainée vers le lac actuel en partie grâce à la grande étendue de *Cyperus madagascariensis* (Papyrus) qui sépare les zones récupérées, de la nappe d'eau libre centrale proprement dite. Ces "marécages-tampon" permettaient à la nappe d'eau qui les baignaient, bien qu'étant en continuité avec le lac, d'avoir cependant une certaine indépendance dynamique et d'être en position plus

"haute" par rapport à ce dernier, ce qui en conséquence, autorisait son écoulement, par drainage artificiel, vers le centre. Ce fait doit être présent à l'esprit des "aménageurs", si la continuation des travaux pionniers de drainage et de "récupération" des marais, est envisagée. A notre avis, il ne faut pas vouloir drainer trop loin, sous risque de reflux des eaux du lac. Ce fait explique pourquoi jusqu'à présent la "tourbe flottante" a pu être drainée, brûlée en partie, puis "plaquée" au substratum alluvial lacustre, localement en position topographique plus basse que celle de la nappe lacustre centrale.

Actuellement, les "sols tourbeux résiduels" sont plus ou moins intéressants, en fonction de leur "stabilité", c'est à dire du stade de leurs transformations après aménagements, donc de l'âge du début des travaux. Autrement dit, les caractères des sols sont ici commandés, en plus de leur position par rapport au centre de la cuvette, par l'importance de l'intervention humaine, que nous avons donc été obligé d'intégrer dans notre inventaire cartographique.

Du point de vue général de leur "fertilité" chimique, abstraction faite de leur régime hydrologique (ce qui en toute logique est une aberration puisque l'eau conditionne *absolument* ces types de milieu dont les modalités sont liées au stade d'avancement du drainage), ces sols tourbeux sont moins intéressants que les sols précédents (moyennement organiques et minéraux). Ceci est spécialement vrai pour les cultures autres que le riz, le blé de contre-saison en particulier. Ces tourbes résiduelles, même en l'absence de saturation permanente par l'eau, constituent un milieu très réducteur et acide, où l'alimentation minérale (azotée spécialement), risque d'être déficiente, alors que des toxicités sont susceptibles d'apparaître.

Par contre, le régime de capillarité de saison sèche est relativement intéressant ; la nappe phréatique est plus proche de la surface ; d'autre part, la tourbe joue un rôle de "mulch", limitant les pertes par évaporation. En ce qui concerne la riziculture aquatique, les propriétés physiques des sols tourbeux sont d'autant plus favorables que ces derniers sont aménagés depuis longtemps et donc que les problèmes de tassement sont mieux résolus, permettant d'autant mieux d'une part la mise en eau régulière des rizières et d'autre part l'enracinement de la plante, donc son alimentation minérale.

Une telle hiérarchie des types de milieu s'ordonnant de la périphérie vers le centre de la cuvette, est donc commandée par la position par rapport à la surface et la dynamique, verticale et latérale, de la nappe phréatique pendant l'année. Le "pôle" externe périphérique, amont ("glacis-plaines de fluage") de cette vaste "hydro-pédo-séquence" est caractérisé (en régime naturel non modifié par l'homme) en saison des pluies par une nappe sub-affleurante, à *circulation latérale superficielle et hypodermique* et en saison sèche par la descente de cette même nappe entre 2 et 3 mètres de profondeur. Le "pôle" interne, central, aval, est marqué par la position permanente (pendant toute l'année) du niveau piézométrique de cette même nappe phréatique, très au-dessus du matériau alluvial, assurant ainsi une *inondation épaisse* (jusqu'à 3 mètres) et peu circulante.

Entre ces 2 pôles, on observait (toujours avant modification artificielle du régime des eaux) des situations intermédiaires. Le "lieu géométrique" à partir duquel, avant aménagement, la nappe affleurait en permanence sur plus de 20 cm d'épaisseur sans importante circulation latérale (donc sans capacité d'oxydation et d'humification de la matière organique) correspond actuellement à la limite d'apparition des sols tourbeux résiduels.

1.2. Croisement de la zonalité générale par les composantes "granulométriques" et "anthropiques"

Les manifestations pédologiques et hydrologiques (teneur en matière organique, nature et épaisseur de celle-ci, régime des eaux), qui sont les conséquences d'un tel ordonnancement logique entre les 2 pôles que nous avons rappelés précédemment, sont cependant perturbées et modulées actuellement, par deux facteurs indépendants que nous avons dû faire intervenir à un niveau classificatoire inférieur :

- l'un, "naturel" qui est la nature granulométrique des matériaux impliqués dans cette zonalité, et qui est le résultat des divers processus géomorphologiques ayant présidé à leur mise en place,

- l'autre, "anthropique" qui est constitué par le mode et l'ancienneté des "travaux d'aménagements" effectués pour mettre en valeur le milieu.

1.2.1. En ce qui concerne le 1er facteur (granulométrie), c'est la présence de sable à faible profondeur, quelle que soit son origine (que nous avons néanmoins différenciée à chaque fois), qui constitue le facteur perturbant. Les appréciations globales précédentes seront à dévaluer à chaque fois que le matériau sera à texture sableuse ou à texture hétérogène (sables et argiles imbriqués verticalement et latéralement, sur de faibles distances). La présence de sable entraîne une modification corrélative du régime hydrique (que celui-ci soit naturel ou bien artificiel), par rapport au régime affectant les sols riches en argiles et sans niveaux sableux. Nous avons, de plus, distingué selon que le sable caractérise de façon systématique une unité "pure" (cordons littoraux par exemple) ou selon que le sable caractérise de façon aléatoire l'unité de milieu, c'est à dire quand celle-ci est en fait définie par l'imbrication complexe incartographiable de sols argileux et sableux, auquel cas la contrainte "sable" est intégrée dans la contrainte "forte hétérogénéité":

. Dans le 1er cas : (cordons sableux du cône de l'Anony et levées alluviales du PC. 15) les unités sont absolument impropres à la fois à la riziculture "inondée" traditionnelle (l'eau de submersion n'y reste pas ou n'y est pas contrôlable) et à la céréaculture de contre-saison (pas d'espoir de remontée capillaire suffisante, sur ces zones à nappe plus profonde qu'ailleurs et à topographie légèrement plus haute).

. Dans le 2ème cas, particulièrement sur le cône de la Sahabe (unités 36 et 39), mais aussi en aval du cône de l'Anony (unités 31 et 33), le milieu est constitué par une association très complexe et "imprévisible" (sans lois de corrélation évidentes avec des observations sur l'état de surface) d'une part de zones argileuses, intéressantes pour la riziculture et médiocres pour le blé de contre-saison, d'autre part de zones sableuses à faible intérêt pour la riziculture et sans intérêt pour le blé. En plus des perturbations hydriques qu'elles engendrent et dont elles sont le siège, les zones sableuses sont néfastes par le méso-relief qui les affecte généralement (levées, cordons) qui nuit au planage et à la submersion homogène. Ce cas est typique sur l'amont du cône de la Sahabe (PC. 23).

1.2.2. Concernant maintenant le rôle du 2ème facteur (ancienneté des aménagements), il est prépondérant, car il conditionne les caractéristiques et l'utilisation actuelle du milieu. Les aménagements ont consisté avant tout d'une part à drainer ces plaines. C'est à dire à écrêter le niveau piézométrique affleurant et évacuer cette eau en excès ou trop fluctuante pour la riziculture, vers le centre de la cuvette, d'autre part à irriguer les casiers rizicoles et contrôler leur plan d'eau, (après planages), à partir de retenues ou prises d'eau en amont. Le drainage a eu pour conséquences très importantes de modifier le régime hydrologique naturel d'origine de ces plaines et, en ce qui concerne les zones aval, de transformer en véritables "sols" des matériaux organiques grossiers très lâches (composés davantage d'eau que de fragments solides) accumulés en couches flottantes ou sub-flottantes ; cette transformation a mis en oeuvre : descente du plan d'eau, brûlage partiel et différentiel des débris végétaux grossiers, tassement, oxydation de la matière organique par les micro-organismes, remaniements par les vers de terre et par le travail du "sol" en cours de différenciation. Le résultat en est la formation d'un "support" tourbeux, de plus en plus cohérent et stable, donc utilisable dans de bonnes conditions pour l'agriculture, au fur et à mesure de l'ancienneté du drainage et des travaux culturels. Cette évolution est cependant de plus en plus lente et difficile au fur et à mesure que la "récupération" des marais progresse vers l'aval. Il n'est pas évident que les zones terminales actuelles, les plus récemment récupérées (unité 37), évoluent au-delà de leur stade d'évolution présent (plus de 50 cm d'épaisseur de tourbe) et atteignent le stade des tourbes résiduelles amont (moins de 50 cm). Il y a un moment où le drainage devient inefficace ; nous avons déjà signalé que l'effet inverse de celui escompté c'est à dire un reflux des eaux vers l'amont, risquait de se produire au-delà d'un certain front de défrichement des "zozoro". Dans cette dynamique de drainage, jusqu'à récemment, le marécage protecteur, à zozoro, empêchait ce reflux de la nappe d'eau libre ; actuellement il l'amortit seulement (des remontées du lac ont été constatées) ; si on continue à réduire la largeur des marais à *Cyperus* et à brûler en partie la "tourbe" flottante, le reflux sera alors irrésistible et grèvera une partie des aménagements anciens.

Quoiqu'il en soit, on peut dire en gros, à l'heure actuelle, que dans les zones tourbeuses la riziculture aquatique (traditionnelle à Madagascar) est d'autant plus aisée que le milieu est anciennement récupéré ; les zones aval en cours de tassement ou non suffisamment drainables, sont en effet difficiles à submerger de façon homogène car, en plus des ondulations de la surface dues au tassement différentiel, la nappe d'inondation n'y est pas isolable de la nappe phréatique et n'est donc pas contrôlable. En amont, on arrive à un contrôle correct à partir du moment où la nappe phréatique est suffisamment basse pour ne pas entrer en continuité avec la nappe perchée maintenue par l'irrigation. Celle-ci quiert alors une indépendance suffisante, condition d'un contrôle artificiel correct. Naturellement, lorsqu'à ces inconvénients, se superpose la présence de sable et le méso-relief qui souvent l'accompagne, la riziculture est encore plus difficile à réaliser dans de bonnes conditions et les cultures de contre-saison ont beaucoup moins de chances de réussir.

2. ZONALITE SEDIMENTOLOGIQUE, PEDOLOGIQUE ET AGRONOMIQUE "SUB-LONGITUDINALE" DES PLAINES A "BAIBOHOS"

Un très net gradient granulométrique a été observé d'amont en aval des alluvions fluviatiles micacées sub-actuelles et actuelles qui se sont déversées en cônes d'épandages aux débouchés des bassins versants activement entaillés par des "lavaka". Ce type d'alluvions est appelé "baiboho" à Madagascar. Les "baibohos" sont des matériaux plus "fertiles" que les autres matériaux hydromorphes des plaines qui, eux obéissent à une distribution sub-concentrique autour de la cuvette centrale. Par rapport aux "baibohos" ces derniers, du fait de leur genèse au sein d'une lame d'eau assez calme et de leur régime d'engorgement prolongé, ont été davantage "lavés", privés de leur minéraux altérables résiduels éventuels, par altération plus rapide, et ont acquis des propriétés physiques plus défavorables (compacité, colmatage, faible structuration...).

Les "baibohos", au contraire, du fait qu'ils sont issus de l'érosion d'altérites encore très riches en minéraux altérables (micas surtout), du fait également de leur plus grande jeunesse et de leur dynamique de transport par des eaux de surface circulantes et aérées et non dans une eau calme où ils auraient pu se tasser et subir des processus physico-chimiques réducteurs et "dégradants", sont affectés de propriétés physiques généralement favorables, sauf, cas important qu'il a fallu circonscrire, quand ils sont à dominance sablo-quartzeuse. Ces propriétés physiques sont les plus favorables quand la texture du matériau est équilibrée, c'est à dire en fait limoneuse et riche en mica, quand il n'y a pas de lentilles sablo-quartzeuses fréquentes. On a alors une excellente porosité, une structure bien développée, une bonne friabilité, permettant une parfaite exploitation du milieu par la plante. Autrement dit, la "richesse chimique" intrinsèque des sols de baibohos n'est pas obligatoirement meilleure en valeur absolue, c'est à dire en proportions d'éléments minéraux, que les autres sols, mais les propriétés physiques et d'oxydo-réduction de ces sols font que ces éléments sont susceptibles d'être beaucoup mieux assimilés et sur un plus grand volume exploité, ce qui suffit à expliquer leur meilleure "fertilité". Les analyses chimiques de laboratoires ne donnent donc pas toujours des indications décisives sur cette fertilité.

En plus de ces caractères de fertilité, l'intérêt de certains "baibohos" limono-micacés tient à leur faculté de transmettre jusqu'en surface où elle est alors utilisable par les racines, l'eau de capillarité à partir de la nappe phréatique en saison sèche. C'est donc dans certains sites de baibohos que les conditions de la culture du blé de contre-saison en régime hydrique naturel, sont les plus favorables. Tous les baibohos ne conviennent pas à ce type de culture. Une "séquence-type" complète d'épandages telle qu'on l'observe au sud de la région, est caractérisée d'amont en aval par les types de milieux suivants :

. *les épandages sablo-gravillonnaires* (unité 41), caractérisent les gouttières amont, canalisant, en contrebas immédiat des versants à "lavaka", les matériaux les plus grossiers. Ces zones ne conviennent ni au riz ni au blé de contre-saison

. *les épandages à texture dominante sableuse* (unité 42), constituent le deuxième stade de la différenciation granulométrique ; ils occupent les vallées et parties amont des plaines, en contrebas des dépôts sablo-gravillonnaires. Ces zones ne conviennent pas au riz aquatique et ont une faible aptitude au blé de contre-saison,

. *les épandages à texture dominante limono-micacée* (unité 46), situés en position terminale, sont globalement les plus intéressants, c'est à dire que c'est dans cet ensemble que toutes les conditions de bonne remontée capillaire ont le plus de chances d'être réunies (en particulier absence de couche sablo-quartzeuse entre la nappe descendante et la surface). Cela ne veut donc pas dire que la totalité de "l'unité de milieu" cartographiée comme homogène à l'échelle du 1/50.000 soit à retenir. La délimitation plus précise des zones convenant effectivement est du ressort d'une cartographie à l'échelle du 1/20.000,

. *"les "biseaux" terminaux* : concernent les "bavures" et "langues" finales, généralement argileuses, situées les plus en aval des épandages et recouvrant, sur moins de 1 mètre d'épaisseur, les sols hydromorphes minéraux ou organiques liés à la zonalité sub-concentrique au lac. Ce biseau n'a pas été délimité sur la carte car sa distinction dans le paysage n'est pas naturelle ; c'est une réalité arbitraire. Nous pensons que cette zone, que l'on peut apprécier à 500 mètres de large en amont de notre limite cartographique, est à éliminer pour la culture du blé de contre-saison par capillarité ; la discontinuité mécanique peu profonde qui sépare les 2 matériaux est en effet très néfaste à ce type de régime hydrique,

. *les levées* (unité 45), associées aux épandages limono-micacés, sont des zones sensiblement plus hautes où la nappe est donc un peu plus profonde et alors inapte à assurer une remontée capillaire suffisante en saison sèche, interdisant la culture du blé. Ces levées sont également peu utilisées pour la riziculture aquatique à cause de la difficulté d'y amener l'eau.

En dehors de cette famille de baibohos micacés issus de l'érosion d'altérites sur roches granito-gneissiques, une autre famille de "baibohos" a été différenciée (unités 43 et 44), correspondant en amont à l'érosion d'altérites plus argileuses issues de roches basiques (gabbros, gneiss amphibolitiques). La contrainte "sable" n'existe donc pas pour ce type de milieu et c'est pourquoi, bien que la capillarité y circule moins vite (absence de mica, plus faible porosité), nous avons considéré ce type de milieu comme ayant de bonnes chances de convenir au blé de contre-saison, du moins en ce qui concerne les vraies plaines d'épandages (unité 44). L'intérêt des vallées amont (unité 43) est par contre plus limité.

3. RAPPEL DE LA HIERARCHIE DES TYPES DE MILIEU QUANT A LEURS APTITUDES POUR LE RIZ ET LE BLE

3.1. Riziculture aquatique

Par ordre décroissant d'intérêt ("*fertilité*", c'est à dire espérance de rendement et *facilités d'aménagement*) dans le contexte socio-économique régional du lac Alaotra, les unités de milieu peuvent globalement s'ordonner selon la hiérarchie suivante :

1. Plaines d'épandages à "baibohos" argileux (unité 44)
2. Plaines d'épandages à "baibohos" limono-micacés (unité 46)
3. Plaines fluviolacustres à sols hydromorphes minéraux à texture très argileuse (unité 28)
4. Plaines fluviolacustres à sols hydromorphes moyennement organiques à texture très argileuse (unité 32)
5. Plaines fluviolacustres à sols hydromorphes tourbeux à tourbe résiduelle peu épaisse, à texture très argileuse (unité 33)
6. Glacis-plaines de fluage à sols hydromorphes minéraux à texture argilo-sableuse (unité 25)
7. Plaines fluviolacustres à sols hydromorphes minéraux à texture hétérogène (unité 34)
8. Plaines fluviolacustres à sols hydromorphes moyennement organiques à texture hétérogène (unité 33)
9. Plaines fluviolacustres à sols hydromorphes tourbeux, à tourbe résiduelle peu épaisse, à texture hétérogène (unité 36)
10. Plaines fluviolacustres à sols hydromorphes tourbeux à tourbe résiduelle encore assez épaisse, en cours de drainage (unité 37)
11. Bas-fonds à tourbe sableuse peu épaisse sur sables blancs (unité 23)
12. Bas-fonds à tourbe épaisse sur sables blancs lavés

13. Zones inaptes (pour des raisons variées) regroupées : colluvions de piémont (unités 50 et 51), levées sur "baibohos" (unité 45), glacis-plaine de fluage à sols vertiques (unité 27) ou à sols excessivement sableux (unité 26), cuvettes de décantation latérale liées aux "baibohos" (unité 49), épandages activement fonctionnels (unités 47 et 48), alluvions des vallées amont précédant les plaines d'épandage de "baibohos" (unités 42 et 43), épandages sablo-gravillonnaires amont (unité 41), frange de fluctuation saisonnière du lac (unité 34), zones non aménagées (et peu aménageables) à tourbe épaisse non flottante (unités 38 et 39), cordons littoraux et levées alluviales sableuses des plaines fluvio-lacustres (unités 29 et 30), tourbe flottante de la cuvette centrale (unité 40).

3.2. Blé de contre-saison en régime hydrique de capillarité

Le classement relatif tenant compte simultanément de la fertilité et du régime hydrique est le suivant :

1. Plaines d'épandages à "baibohos" limono-micacés (unité 46)
2. Plaines d'épandages à "baibohos" argileux (unité 44)
3. Plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes tourbeux à tourbe résiduelle peu épaisse, à texture argileuse (unité 35)
4. Plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes tourbeux à tourbe résiduelle peu épaisse à texture hétérogène (unité 36)
5. Plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes moyennement organiques à texture argileuse (unité 32)
6. Plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes moyennement organiques à texture hétérogène (unité 33)
7. Plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes minéraux à texture argileuse (unité 28)
8. Plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes minéraux à texture hétérogène (unité 31)
9. Glacis-plaines de fluage à sols hydromorphes minéraux à texture argilo-sableuse (unité 25)
10. Plaines fluvio-lacustres à sols hydromorphes tourbeux à tourbe résiduelle encore assez épaisse, en cours de drainage (unité 37)
11. Zones inaptes regroupées: toutes les autres unités de milieu.

A notre avis, seules les 5 premières catégories sont susceptibles d'offrir un intérêt pour le blé sans irrigation. Ce sont celles qui offrent les meilleures conditions et chances de succès ; cependant, il faut insister d'une part, sur le fait qu'à l'intérieur de chacune, il y a probablement des déchets et que, d'autre part, seuls les résultats d'une expérimentation bien conduite en vraie grandeur, sans irrigation dans les conditions socio-techniques réelles, fourniront les éléments décisifs pour le lancement du blé dans cette région.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRU (J.) - 1980 - Les possibilités d'amélioration de l'alimentation de l'élevage bovin (étude de factibilité des vallées Sud du Lac Alaotra). SOMEAH-SOGREAH. Janvier 1980.
- ARRAUDEAU (M.) - 1967 - Synthèse et conclusion de 6 années d'essais variétaux riz en République Malgache. Station Agronomique du Lac Alaotra. Juillet 1967. Doc IRAM n° 127.
- ARRAUDEAU (M.), LAVIGNE (R.) - 1962 - Travaux sur le manioc de la station du Lac Alaotra. Campagnes 1961 - 1962. 46 pages. 1962.
- BESAIRIE (H.) - 1973 - Précis de Géologie Malgache. Ann. Géol. Mad. Fasc. XXXVI, 1973, 141 pages.
- B. I. R. D. - 1981 - Impact évaluation report. Lake Alaotra Irrigation project. Août 1981.
- B. I. R. D. - 1983 - Rapport d'évaluation. Projet d'intensification de la riziculture au Lac Alaotra. Fév. 1983.
- BIRIE-HABAS (J.) - 1959 - Expérimentation sur les plantes fourragères à la station agronomique du lac Alaotra. ORSTOM-IRAM, Bulletin n° 3, 1959.
- BIRIE-HABAS (J.) - 1961 - Expérimentation fourragère sur le périmètre 15. IRAM, Station du Lac Alaotra, Fév. 1961.
- BONNEFOY - 1932 - Etude sur la valeur agricole des terres du pays Sihanaka. Bull. Ec. Mad., 1932, (mai, juin, juillet).
- BOSSER (J.), RIQUIER (J.) - 1952 - Carte d'utilisation des sols au 1/10 000 (2 cartes) Andranorefina. ORSTOM.
- BOSSER (J.), RIQUIER (J.) - - Notices sur les cartes d'utilisation des sols. Feuilles de Morarano, Amparafaravola et Ambohijanahary (échelle 1/20 000).
- BOSSER (J.), ROCHE (P.) - 1956 - Notice sur la carte d'utilisation des sols. Feuilles d'andilamena. Publication IRSM (Tananarive). 1956.
- BOURGEON (G.) - 1984 - Région du lac Alaotra. Madagascar. Etudes pédologiques de quelques plaines périphériques (Echelle 1/20 000). IRAT-MARA 1984.
- BRENON (P.) - 1949 - Etude géologique de la feuille Lac Alaotra. Carte 1/200 000. Travaux du Bureau Géologique n° 8. Tananarive 1949. 89 pages.

- BRUYERE (R.) - 1962 - Le P. C. 23. Lac Alaotra. Etude agronomique. Carte pédologique. 74 pages. Station agronomique du Lac Alaotra. 1962.
- CHARMES (J.) - 1972 - Evolution des modes de faire -valoir et transformation des structures sociales dans la région de l'Anony (Nord Ouest du Lac Alaotra). Doc ORSTOM, Tananarive, 1972, 55 pages.
- CHARMES (J.) - 1973 - Métayage et capitalisme agraire sur les périmètres Nord de la SOMALAC. Doc ORSTOM, Tananarive, Juin 1973.
- CHARPENTIER (H.) - 1983 - Expérimentation d'accompagnement pour le développement de la productivité des rizières de la SOMALAC. Rapport de synthèse Année 1981-1982. Riz pluvial, blé. IRAT-SOMALAC-MPARA. 49 pages.
- CHARPENTIER (H.) - 1983 - Expérimentation d'accompagnement pour le développement de la productivité des rizières de la SOMALAC. Rapport de contre-saison 1983. Blé. IRAT-SOMALAC-MPARA. 1983. 54 pages.
- CHARPENTIER (H.) - 1984 - Expérimentation d'accompagnement pour le développement des rizières de la SOMALAC. Rapport des saisons 1982-1983. Riz pluvial. IRAT-SOMALAC. 49 pages.
- CHARPENTIER (H.), FEAU (C.) - 1983 - Rapport de campagne de contre-saison 1982. Avril 1983.
- CLAISSE (G.), RIQUIER (J.) - 1946 - Prospection préliminaire au lac Alaotra. ORSTOM.
- CLAISSE (G.), RIQUIER (J.) - 1947 - Histoire des sols de la station rizicole du lac Alaotra. ORSTOM. 1 carte 1/5 000.
- DECHANET (R.) - 1968 - L'expérimentation rizicole au P.C. 15. Résultats obtenus. Fiches techniques des variétés Manaoeroen (1055) et Makalioka 34. IRAT-IRAM. Station du lac Alaotra. Division Amélioration des plantes. Février 1968.
- DECHANET (R.) - 1964 - Résultats obtenus sur le blé, orge, avoine à la station agronomique Alaotra. Années 1963 et 1964. Programme des travaux pour l'année 1965. Doc IRAM, Station Agronomique Alaotra, Novembre 1964.
- DELENNE (M.) - 1973 - La population du P.C. 23 devant les nouveaux aménagements de la SOMALAC. ORSTOM. Nov. 1973.
- DELHAYE (R. E.) - 1963 - Quelques considérations sur les problèmes agros-tologiques à Madagascar et dans la région du Lac Alaotra en particulier. IRAT-IRAM. Station Agronomique du lac Alaotra. Juillet 1963. 37 pages.

- DIDIER DE SAINT-AMAND (R.) - 1956 - Influence d'une couverture herbacée dense sur la vie microbienne des sols de la Station agronomique du Lac Alaotra (Madagascar). 6e congrès Intern. de la Science du sol, Paris, 1956, vol. C, pp. 431-438.
- DIDIER DE SAINT-AMAND (R.) - 1959 - La vocation rizicole des sols de marais à Madagascar et l'évaluation pédologique consécutive à leur mise en valeur. (Comm. Intern. du Riz, Ceylan, 1959).
- DIDIER DE SAINT-AMAND (R.) - 1960 - Evolution pédologique consécutive au drainage des sols hydromorphes à Madagascar. 6e Congrès Intern. des Irrigation et Drainage (Madrid). 1960.
- DIDIER DE SAINT-AMAND (R.) - 1960 - Contribution à l'étude du P.C. 23.
- DIDIER DE SAINT-AMAND (R.) - 1962 - Les vocations culturales des sols hydromorphes de la région de l'Alaotra et les problèmes d'entretien de la fertilité sur ces sols. Doc ronéo. Août 1982. 14 p.
- DIDIER DE SAINT-AMAND (R.) - 1967 - Dynamique des sols hydromorphes organiques malgaches en relation avec la riziculture. Thèse Doctorat. Université de Nancy, Faculté des Sciences, Chaire de Pédologie. IRAT. 1967, 193 p.
- DOBOS (A.) - 1975 - Expérimentation agronomique et diversification des cultures. Rapports de campagne contre-saison. 1972-1974-1975.
- DOBOS (A.) - 1976 - Expérimentation agronomique et diversification des cultures. Rapport récapitulatif 1972-1976. Mission IRAT à Madagascar. 145 p.
- DORMOIS (R.) - 1949 - Le gisement de Nickelville (Lever 1/50 000). Bull. Géol. Mad., Fasc. 1, 1949.
- DUCOUREAU (A.) - 1945 - La mise en valeur de l'Alaotra. La Revue de Madagascar, Janvier 1945.
- DUFURNET (R.) - 1955 - Riziculture mécanisée au Lac Alaotra. Communication à la Commission de Coopération Technique en Afrique. Conférence sur la mécanisation de l'Agriculture. Ouagadougou, juin 1955.
- DUFURNET (R.) - 1958 - Conditions écologiques de la culture de l'arachide dans la région du Lac Alaotra. Climat - sols - calendrier agricole. Station Agronomique du Lac Alaotra. 1958. 8 p.
- DUFURNET (R.), GREMILLET (B.) - 1958 - Mécanisation agricole dans la région du Lac Alaotra. Généralités sur la région. Tracteurs, Machines agricoles. Tome I : tracteurs et rendements. Tome II : Machines agricoles et rendements. Doc IRAM. Station Agronomique du Lac Alaotra. Mars 1958.

- DUFOURNET (R.), MARQUETTE (J.) - 1960 - Note sur la pluviosité de la région du lac Alaotra. Doc IRAM, Tananarive, Mars 1960, 17 p.
- EHRART - 1921 - Cipolins d'Ambatondrazaka. Bull. Ec. Mad., IV, 1921.
- EVESQUE - 1923 - Mica d'Ambatondrazaka. Arch. B. 88 (1911 et 1923).
- FEAU (C.) - 1983 - Expérimentation d'accompagnement pour le développement de la productivité des rizières de la SOMALAC. Rapport de synthèse 1980-1982. Riz irrigué. IRAT-SOMALAC-MPARA. Août 1983. 108 p.
- FEAU (C.) - 1980 à 1983 - Rapport de campagne de saison 1980-1981, 1981-1982. IRAT-SOMALAC-MPARA.
- FEAU (C.) - 1983 - Expérimentation d'accompagnement pour le développement de la productivité des rizières de la SOMALAC. Rapport de campagne 1982-1983. Riz irrigué. IRAT-SOMALAC-MPARA. 1983. 57 p.
- FERNANDEZ (M.F.) - 1970 - Contribution à l'étude du peuplement ancien du Lac Alaotra. In Taloha 3, revue du Musée d'Art et d'Archéologie, Tananarive, 1970, p. 3-54.
- GAIRAUD (R.), GREMILLET (B.), RAKOTOLAHY - 1969 - Etude sur les problèmes rizicoles de variétés, calendrier et techniques culturales dans la région du Lac Alaotra. Doc IRAM, Station Agronomique du Lac Alaotra. Juillet 1969, 16 p.
- GOARIN (P.), DIDIER DE SAINT-AMAND (R.) - Influence des herbicides sur la vie microbienne d'un sol de rizière. 21 p. IRAM.
- GREMILLET (B.) - 1965 - Le repiquage du riz en terre fluide de marais. Fiche technique n°7/MAC. Station Agronomique Alaotra. Fév. 1965.
- GREMILLET (B.) - 1967 - L'emploi des techniques améliorées et l'utilisation du matériel agricole en riziculture au Lac Alaotra. Station Agronomique Alaotra, 8 p., janvier 1967.
- GUILLOTEAU (S.) - 1967 - Travaux sur le manioc à la station agronomique du Lac Alaotra. Campagne 1965-1966. Doc IRAM Station Agronomique du Lac Alaotra. 76 p., mai 1967.
- I. C. T. A. D. - 1981 - SOMALAC : diagnostic et recommandation. Vol. 1 : la terre et l'eau, facteurs primaires de la production rizicole. Nov. 1981.
- I. S. N. A. R. - 1983 - La recherche agricole à Madagascar. Bilan et perspectives du FOFIFA. Août 1983.
- LAFFAY - 1902 - Le bassin lacustre de l'Alaotra. Revue de Madagascar. 1902.

- LAFON - 1922 - L'élevage au pays Sihanaka. Bull. Ec. Mad., 1922.
- LAVILA - 1921 - Gisements calcaires d'Ambatondrazaka. Bull. Ec. Mad. IV, 1921.
- LE BOURDIEC (F.) - 1967 - Aspects géographiques de la riziculture Malgache. In "Madagascar, Revue de Géographie, n° 10-11". Janvier-décembre 1967.
- LE BOURDIEC (F.) - 1974 - Hommes et paysages du riz à Madagascar. Etude de Géographie Humaine. 648 p. Tananarive. Madagascar.
- LEFORT (J.) - 1983 - Projet de recherche-développement au Lac Alaotra. (Document provisoire). IFARC-GERDAT. Mission Système Agraire. Déc. 1983. 55 p.
- LENOBLE (A.) - 1946 - Gisement de Nickel d'Ambolotarabe (Nickelville). In Rapport annuel du Bureau des Exploitations Minières. Archives Service des Mines. 1945-1946.
- LONGUEFOSSE - 1925 - L'Antsihanaka, région de l'Alaotra. Bull. Ec. Mad. 1922-1923-1925.
- LONZOUN (G.) - 1967 - Le remembrement au Lac Alaotra, in "Terres Malgaches", n° 2, Tananarive, juin 1967, p. 101-127.
- M. A. E. R. - 1970 - Amélioration structurelle de la riziculture au Lac Alaotra. Programme 1971-1975. Rapport MAER, Tananarive, 1970.
- MANOURY (G.) - 1983 - Expérimentation d'accompagnement pour le développement de la productivité des rizières de la SOMALAC. Rapport de contre-saison 1983 : les problèmes d'eau en rizières, les tanety. IRAT-SOMALAC-MPARA. 1983. 39 p.
- MANOURY (G.) - 1983 - Expérimentation d'accompagnement pour le développement de la productivité des rizières de la SOMALAC. Approches des exploitations agricoles sur les P.C. SOMALAC. IRAT-SOMALAC-MPARA. Déc. 1983. 36 p.
- MARQUETTE (J.) - 1966 - Possibilité et intérêt de la culture du soja noir au Lac Alaotra. IRAT, Doc. n° 78, juin 1966.
- MOUREAUX (C.), SEGALEN (P.) - 1948 - Rapport de mission au Lac Alaotra. ORSTOM.
- MOUREAUX (C.), RIQUIER (J.) - 1951 - Les sols submergés du Lac Alaotra. Mém. IRSM D. III, 1. 1951.

- NEYRPIC (Société) - 1950 - Etudes préliminaires. Rapport général concernant le périmètre n° 23 du Lac Alaotra. Madagascar. 1950.
- NEYRPIC (Société) - 1950 - Hydrologie du Lac Alaotra (3 tomes), Madagascar. 1950.
- NEYRPIC (Société) - 1950 - Résultats des sondages de l'axe de drainage de Mahakary (aménagement de la région du Lac Alaotra), Madagascar. 1950.
- OTTINO (P.) - 1965 - Notables et paysans sans terre de l'Anony (Lac Alaotra). In Bulletin de Madagascar, n° 224, janvier 1965, pp. 19-61.
- PERRIER DE LA BATHIE (H.) - 1913 - Les dépressions lacustres du Mangoro, de l'Alaotra, de l'ankaizina. Bull. Ac. Malg. 1913. Vol. XII.
- PICHOT (J.) - 1966 - Etude pédologique des mailles 5, 6, 7 du périmètre d'aménagement de l'Anony. Lac Alaotra. Madagascar. Cartes (échelle 1/5 000e). Rapport de stage ORSTOM. Tome I. IRAM-IRAT. 1966. 70 p.
- PICHOT (J.) - 1966 - Evolution et mise en valeur des sols hydromorphes dans la région du lac Alaotra (Madagascar). Rapport de stage ORSTOM. Tome II. IRAM-IRAT. 1966. 60 p.
- POISSON (RP. CH) - 1949 - Accidents tectoniques et tremblements de terre à Madagascar. Bull. Géol. Mad., Fasc. 1, 1949.
- RANDRIAMANPITA (G.) - 1983 - Atouts et freins à l'introduction de la culture du blé en contre-saison sur les rizières du Lac Alaotra. Mémoire ESAT-IRAT, 1983.
- RANDRIAMAROZAKA - 1971 - La SOMALAC. In Revue de Madagascar, n° 53, 54, 1971, pp. 15-32.
- RASOLO (F.) - Etude socio-économique des vallées Sud du Lac Alaotra. Vallées de la Sasomangana et de la Ranofotsy. FOFIFA-DRA. Division d'Economie Rurale.
- RASOLO (F.) - Etudes socio-économiques des Fokontany de Sahamaloto et de Beanana. Présentée par le groupement SECOMO-GEDRAT. Sir Mac Donald and Partners Ltd.
- RAUNET (M.) - 1981 - Les bas-fonds et les plaines alluviales des Hautes Terres de Madagascar. Reconnaissance morpho-pédologique et hydrologique. Aptitudes à la culture du blé de contre-saison. IRAT-Montpellier. 166 p. 1981.
- RAUNET (M.) - 1981 - Potentialités écologiques de Madagascar pour la culture de l'orge de brasserie. IRAT-Montpellier. 1981. 66 p.
- RAUNET (M.) - 1982 - Les potentialités écologiques de Madagascar pour le blé et l'orge. Agron. Trop., n° 2, XXVII-2, 1982, pp. 131-141.

- RAUNET (M.) - 1982 - Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar. Caractères morpho-pédologiques et hydrologiques, aptitudes agricoles. IRAT. Service de Pédologie Montpellier 70 p. 1982.
- RAUNET (M.) - 1984 - Systémique et structuralisme dans l'étude et la cartographie du milieu naturel. Quelques réflexions épistémologiques. IRAT-Montpellier. Janvier 1984. 15 p.
- RIBARD (M.) - 1972 - Contribution à l'étude régionale de la bordure occidentale du lac Alaotra, Mémoire de maîtrise, Fac des Lettres, Tananarive, 1972, 93 p.
- RIQUIER (J.) - 1956 - Les sols sur alluvions récentes du Lac Alaotra. Communication VI. Congrès Intern. des Sciences du sol. Paris. pp. 541-546.
- RIQUIER (J.), SEGALIN (P.) - 1949 - Notice sur la carte pédologique du Lac Alaotra (1/50 000, 4 feuilles). Mémoires de l'I.R.S.M. Série D, Tome I, Fasc. 1, 149 pp. 1-31.
- ROCHE (P.) - 1952 - Les sols de marais récemment récupérés au Lac Alaotra, Madagascar. L'Agron. Trop. 1952, vol.7, n° 1, pp. 43-63.
- ROCHE (P.) - 1954 - Mesures de l'érosion et du ruissellement, sous différentes cultures dans la région du Lac Alaotra. Doc. n° 41 de la Station agricole, 1954, 20 p.
- ROCHE (P.) - 1955 - Notice sur la carte d'utilisation des sols du P.C. 15. Collectivité Rurale d'Ambohiboatavo. Lac Alaotra. Echelle 1/10 000. Doc IRAM, 1955.
- ROCHE (P.) - 1956 - Techniques de conservation des sols appliquées dans la région du lac Alaotra. IRSM, 1956, 6 pages.
- ROCHE (P.) - 1960 - Etude de l'évolution des sols hydromorphes dans la région du Lac Alaotra et dans la région de Mahitsy. IRAM. Tananarive.
- ROCHE (P.) - 1961 - Etude de l'évolution des éléments fertilisants apportés sur les principaux types de sols de la région du Lac Alaotra Observations 1950-1960. Doc IRAM. Tananarive, 1961.
- ROCHE (P.) - 1962 - Etude de fertilisation sur arachide dans la région du Lac Alaotra 1956-1960. Doc IRAM, Tananarive, 34 p.
- ROCHE (P.), JOLIET (B.) - 1955 - Etude des sols à vocation rizicole du secteur de conservation des sols de Menaloha-Mananamontana. Projet de mise en valeur. Document IRAM.
- ROCHE (P.), VELLY (J.), JOLIET (B.) - 1964 - Fertilisation des sols de rizière dans la région du Lac Alaotra (Madagascar). Congrès de Léopoldville. Août 1964.

- ROCHE (P.), VERGNETTE (J. de), VIGREUX (M.) - 1958 - Une expérience de paysannat en matière de conservation des sols. Secteur Antandrokomby Andranorefina. Vallée témoin. Lac Alaotra. 1953-1958.
- ROLLOT - 1921 - Mise en valeur de la plaine de l'Alaotra. Bull. Ec. Mad. 1921 (4ème trimestre).
- S. C. E. T. Coopération - 1962 - Le Lac Alaotra, étude préliminaire. Tananarive, 1962, 95 p.
- S. C. E. T. Coopération - 1963 - Lac Alaotra.
- S. C. E. T. Coopération - 1967 - La SOMALAC : six années d'activité de la SOMALAC. Doc. SCET, Tananarive, Mars 1967, 37 p.
- S. C. E. T. Coopération - 1971 - SOMALAC 10e anniversaire. Doc SCET. Coopération Internationale, Tananarive, 1971, 47 p.
- S. C. E. T. International - 1979 - Rapport sur les modalités d'intensification de l'agriculture irriguée dans la région du lac Alaotra. Diagnostic et mesures à prendre au niveau SOMALAC. Tome 1. 1979.
- SEGUY (L.) - 1984 - Mission d'appui à la recherche rizicole Malgache. IRAT Avril 1984. 67 p. + annexes.
- SOMALAC - 1964 - Le P. C. 23 (Lac Alaotra). Etude Agronomique. Tananarive. IRAM, 1964. 74 p.
- TREYER (M.) - 1963 - Contribution à l'étude du P.C. 23. IFAM. Nov. 1963. 3 cartes.
- VELLY (J.), ROCHE (P.) - 1962 - Etude de l'évolution des éléments fertilisants apportés sur les principaux types de sols de la région du Lac Alaotra. Observations 1950 à 1959. IRAM Division d'Agrologie, Mars 1962. 40 p.

ANNEXES

Description et analyses des sols

PROFIL AL. 1

Localisation : Cône de l'Anony-Sahamaloto. 3 km à l'Ouest d'Analatsisivahy.

Date de l'observation : 4 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluviolacustres très argileuses.

Type de sol : Sol hydromorphe organique tourbeux à tourbe assez épaisse non flottante sur argile fine.

Unité de milieu : intermédiaire entre unité 37 et unité 38.

Utilisation du sol : rizière récente

Description :

- 0 - 50 cm : tourbe noire, gorgée d'eau (nappe à 25 cm de profondeur), spongieuse, à consistance "élastique", à structure finement fibreuse. A la base, présence d'un liseré et de petites poches irrégulières de couleur grise à orangée, composés de cendres roses et de "granules" rougeâtre très durs et anguleux, d'argile cuite. Limite nette et ondulée avec l'horizon inférieur.
- 50 - 70 cm : argile humique fine homogène, de couleur gris-foncé, sans taches pas de réoxydation) à faciès d'"armoor". Texture argileuse très fine, sans sables quartzeux. Gorgée d'eau (nappe phréatique permanente), très plastique, peu poreux. Transition progressive avec l'argile inférieure non humique.
- 70 - 120 cm : Argile fine très homogène, de couleur gris-clair (devenant blanchâtre en séchant), complètement gleyfiée (sans taches), gorgée en permanence par la nappe phréatique. Texture très fine (absence de sables quartzeux). Structure polyédrique grossière anguleuse à l'état sec. Très plastique à l'état humide. Faible porosité (pores très fins).

Echantillon	AL	11	12	13
Profondeur	CM	0-35	35-60	60-120
Humidité à pF 4,2	%	37.4	32.5	31.3
Humidité à pF 3,0	%	58.4	43.2	42.6
Argile (0-2 µ)	%	40.9	86.2	86.3
Limon fin (2-20 µ)	%	31.9	5.9	7.0
Limon grossier (20-50 µ)	%	11.2	3.0	3.5
Sable fin (50-200 µ)	%	8.7	2.6	1.7
Sable grossier (200-2000 µ)	%	7.3	2.3	1.5
Matière organique	%	9.84	3.48	2.46
Carbone	%	5.71	2.02	1.43
Azote total	%	5.31	2.05	1.54
Rapport C/N		11	10	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	429	18	20.4
Ca	mé%	5.06	5.72	5.56
Mg	mé%	1.95	2.72	2.73
Na	mé%	0.12	0.05	0.05
K	mé%	0.25	0.12	0.08
Somme des bases	mé%	7.38	8.61	8.42
Capacité d'échange	mé%	32.73	19.08	16.94
Saturation	%	22.5	45	49.7
pH (eau)		5.00	4.80	4.70

PROFIL AL. 2

Localisation : extrémité aval du cône de l'Anony. 4 km au SSE d'Analatsisivahy ;
5 km au SW d'Anororo.

Date de l'observation : 4 juillet 1983

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres très sableuses.

Type de sol : sol hydromorphe organique tourbeux à tourbe peu épaisse (20 cm)
sur sable pur.

Unité de milieu : cordon littoral sableux récent. Unité 29

Utilisation du sol : étendue à chiendent, quelques plages de "zozoro"
(*Cyperus madagascariensis*).

Description :

- 0 - 20 cm : tourbe noire, gorgée d'eau (nappe à 10 cm de profondeur),
spongieuse, à structure fibreuse assez grossière. Limite nette,
assez régulière avec le substratum inférieur.
- 20 - 40 cm : sable "humique", de couleur gris-foncé, sable grossier exclu-
sivement quartzueux (absence de micas). Gorgé d'eau, fluant,
absence de structure à l'état sec (massif). Transition progres-
sive avec le sable minéral inférieur.
- 40 -120 cm : sable quartzueux grossier, devenant très grossier en profondeur.
Couleur grise puis beige (blanchit en séchant) ; absence de
matière organique. Stratification entrecroisée. Gorgé d'eau et
fluant. Massif à l'état sec.

Echantillon	AL	21	22	23
Profondeur	CM	0-20	20-40	40-120
Humidité à pF 4,2	%	8.5	3.6	2.0
Humidité à pF 3,0	%	14.7	6.1	3.9
Argile (0-2 μ)	%	13.2	6.0	4.7
Limon fin (2-20 μ)	%	8.3	6.0	1.6
Limon grossier (20-50 μ)	%	4.4	0.5	1.0
Sable fin (50-200 μ)	%	25.9	27.7	26.5
Sable grossier (200-2000 μ)	%	48.2	59.8	66.3
Matière organique	%	3.65	1.17	0.41
Carbone	%	2.12	0.68	0.24
Azote total	‰	2.32	0.70	0.22
Rapport C/N		9	10	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	16.6	9	6
Ca	mé%	2.16	1.55	1.03
Mg	mé%	0.57	0.34	0.28
Na	mé%	0.07	0.03	0.03
K	mé%	0.16	0.07	0.05
Somme des bases	mé%	2.96	1.99	1.39
Capacité d'échange	mé%	9.43	3.39	1.44
Saturation	%	31.3	58.7	96.5
pH (eau)		5.10	5.80	5.95

PROFIL AL. 3

Localisation : partie centrale du cône de l'Anony, entre Antsampanima hazo et Anororo ; 6 km au NW d'Anororo.

Date de l'observation : 4 juillet 1984.

Nature du matériau : alluvions fluviolacustres argileuses en surface, sableuses en profondeur.

Type de sol : sol hydromorphe minéral sur alluvions argileuses

Unité de milieu : unité 28

Utilisation du sol : rizière

Description :

- 0 - 15 cm : horizon travaillé argileux, de couleur d'ensemble brun-foncé (gris + taches rouille) ; absence de tourbe, faible teneur en matière organique, racines fines (riz) , texture argileuse, sans sables quartzueux ; structure polyédrique anguleuse très grossière Sec et fissuré. Transition nette et régulière avec l'horizon inférieur.
- 15 - 50 cm : argile fine, homogène, sans sables quartzueux. Légèrement humide ; couleur grise, à taches jaune ; structure polyédrique anguleuse grossière ; très faible porosité. Limite nette avec l'horizon inférieur.
- 50 - 70 cm : argile sableuse (matériau non typiquement alluvial). Présence de sables très grossier. Couleur grise, tacheté de jaune ; humide structure massive (pas de fissuration). Limite nette avec l'horizon inférieur.
- 70 -120 cm : sable quartzueux très grossier , pratiquement pur. Couleur beige tachetée de rouille et de jaune. Gorgé d'eau (nappe phréatique).

Echantillon	AL	31	32	33
Profondeur	CM	0-15	15-50	50-70
Humidité à pF 4,2	%	13.8	17.6	3.2
Humidité à pF 3,0	%	22.5	26.8	5.2
Argile (0-2 μ)	%	36.9	54.8	6.7
Limon fin (2-20 μ)	%	10.7	9.6	2.4
Limon grossier (20-50 μ)	%	14.2	6.7	1.5
Sable fin (50-200 μ)	%	24.1	16.7	19.4
Sable grossier (200-2000 μ)	%	14.1	12.2	69.9
Matière organique	%	1.43	0.48	0.19
Carbone	%	0.83	0.28	0.11
Azote total	%	0.83	0.30	0.12
Rapport C/N		10	9	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	9	6	39
Ca	mé%	3.37	5.42	1.75
Mg	mé%	1.57	2.79	0.73
Na	mé%	0.07	0.06	0.03
K	mé%	0.11	0.15	0.06
Somme des bases	mé%	5.12	8.42	2.57
Capacité d'échange	mé%	8.89	10.60	2.84
Saturation	%	57.5	79.4	90.5
pH (eau)		5.10	5.70	5.90

PROFIL AL. 4

Localisation : moitié amont du cône de l'Anony. 4 km à l'Est d'Ambohijanahary.
1 km à l'Est du pont sur l'Anony, près de la route goudronnée.

Date de l'observation : 5 juillet 1983

Nature du matériau : alluvions fluviolacustres très argileuses

Type de sol : sol hydromorphe minéral sur alluvions argileuses

Unité de milieu : unité 28

Utilisation du sol : rizière

Description :

0 - 20 cm : horizon travaillé, affecté par la mise en boue et l'engorgement par la nappe perchée due à l'irrigation : structure massive, gros blocs prismatiques séparés par des fissures. Couleur brun-grisâtre d'ensemble (gris + taches rouille). Racines fines (riz). Texture argileuse fine, absence de sable, absence de mica. Faible porosité. Limite nette et régulière avec l'horizon inférieur.

20 - 40 cm : argile fine sans sable et sans mica, couleurs gris-beige d'ensemble (gris + taches jaune-rouille signalant une réoxydation). Sec. Structure polyédrique argileuse grossière. Porosité très fine. Absence de racines. Transition progressive avec l'horizon inférieur.

40 - 120 cm : argile très fine (sans sable et sans mica) ; couleur beige clair à taches jaunes très peu contrasté (faible réoxydation du gley). Légèrement humide, plastique. Porosité très fine. Structure polyédrique argileuse bien développée à l'état sec. Nappe phréatique non atteinte.

Echantillon	AL	41	42	43
Profondeur	CM	0-20	20-40	40-120
Humidité à pF 4,2	%	21.2	21.7	21.9
Humidité à pF 3,0	%	32.9	32.9	35.1
Argile (0-2 µ)	%	49.1	59.6	62.7
Limon fin (2-20 µ)	%	16.7	13.0	13.0
Limon grossier (20-50 µ)	%	11.5	14.9	12.2
Sable fin (50-200 µ)	%	21.2	11.0	11.2
Sable grossier (200-2000 µ)	%	1.6	1.4	0.9
Matière organique	%	2.29	1.12	0.88
Carbone	%	1.33	0.65	0.51
Azote total	‰	1.34	0.66	0.45
Rapport C/N		10	10	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	17	10	10.3
Ca	mé%	3.04	3.50	3.29
Mg	mé%	3.44	5.05	6.75
Na	mé%	0.10	0.05	0.08
K	mé%	0.35	0.24	0.33
Somme des bases	mé%	6.93	8.84	10.45
Capacité d'échange	mé%	13.46	14.39	14.64
Saturation	%	51.4	61.4	71.3
pH (eau)		5.35	5.35	5.40

PROFIL AL. 5

Localisation : moitié aval du cône de l'Anony. 500 mètres au Sud d'Amborompotsy.

Date de l'observation : 5 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluviolacustres à texture hétérogène (sable et argile imbriqués).

Type de sol : sol hydromorphe minéral à moyennement organique sur alluvions riches en sable.

Unité de milieu : intermédiaire entre unité 29 (cordon littoral) et 33.

Utilisation du sol : zone non cultivée. Étendue à chiendent.

Description :

0 - 30 cm : sable humifère (sable quartzueux pur sans mica) de couleur gris foncé ; sans traces de tourbe et sans débris végétaux (matière organique humifère) ; nombreuses racines (chiendent). Sec. Très compact. Transition nette avec le matériau inférieur.

30 - 60 cm : limon-argilo-sableux (argile kaolinique grise + sable quartzueux). Couleur d'ensemble grise ; taches jaune peu contrastées. Sec, structure massive. Quelques racines fines ; compact. Limite progressive avec le matériau inférieur.

60 -120 cm : sable limoneux à sable quartzueux très grossier. Couleur beige devenant bleutée en profondeur (nappe vers 100 cm) en même temps que le sable devient plus abondant. Structure massive à l'état sec.

Echantillon	AL	51	52	53
Profondeur	CM	0-30	30-60	60-120
Humidité à pF 4,2	%	5.6	7.3	6.7
Humidité à pF 3,0	%	9.3	12.1	11.4
Argile (0-2 μ)	%	11.6	21.3	19.1
Limon fin (2-20 μ)	%	6.1	3.8	2.5
Limon grossier (20-50 μ)	%	8.3	6.2	1.8
Sable fin (50-200 μ)	%	55.2	42.8	45.2
Sable grossier (200-2000 μ)	%	18.9	25.9	31.5
Matière organique	%	1.74	0.59	0.48
Carbone	%	1.01	0.34	0.28
Azote total	‰	1.0	0.34	0.31
Rapport C/N		10	10	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	9.4	6.5	10
Ca	mé%	2.08	2.75	2.50
Mg	mé%	0.98	2.04	1.94
Na	mé%	0.08	0.06	0.05
K	mé%	0.09	0.10	0.09
Somme des bases	mé%	3.23	4.95	4.58
Capacité d'échange	mé%	5.29	5.56	5.38
Saturation	%	61	89	85.1
pH (eau)		5.45	6.30	6.20

PROFIL AL. 6

Localisation : 2,5 km au Sud du barrage de Sahamaloto, à proximité de l'ancien terrain d'aviation.

Date de l'observation : 5 juillet 1983

Nature du matériau : matériau argilo-sableux de "fluage"

Type de sol : sol hydromorphe minéral argilo-sableux

Unité de milieu : glaciais-plaine de fluage. Unité 25.

Utilisation du sol : rizière

Description :

0 - 20 cm : gris foncé, à petites taches rouille ; faciès ni tourbeux, ni d'anmoor. Racines fines (riz). Structure massive (pas de fissuration). Texture limono-argilo-sableuse, à sables grossiers exclusivement quartzeux. Compact. Limite bien distincte avec l'horizon inférieur.

20 - 80 cm : gris tacheté de rouille (taches peu contrastées). Absence de matière organique ; structure massive, compact, "lourd" (faible porosité). Texture argilo-sableuse riche en sables grossiers (exclusivement quartzeux). Transition progressive avec l'horizon inférieur.

80 -120 cm : gris beige à taches jaune-ocre peu contrastées. Texture limono-sableuse devenant sablo-grossière (quartz) en profondeur (lavage par la nappe phréatique en hivernage). Structure massive.

Echantillon	AL	61	62	63
Profondeur	CM	0-20	20-80	80-120
Humidité à pF 4,2	%	12.3	11.2	6.3
Humidité à pF 3,0	%	18.1	14.0	8.8
Argile (0-2 μ)	%	32.4	31.2	19.7
Limon fin (2-20 μ)	%	13.3	8.6	0.1
Limon grossier (20-50 μ)	%	6.5	3.0	0.2
Sable fin (50-200 μ)	%	25.3	25.5	6.8
Sable grossier (200-2000 μ)	%	22.6	31.7	73.3
Matière organique	%	2.64	1.17	0.43
Carbone	%	1.53	0.68	0.25
Azote total	%	1.44	0.66	0.22
Rapport C/N		11	10	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	21	11.7	38.5
Ca	mé%	1.62	0.64	0.46
Mg	mé%	1.13	0.46	0.30
Na	mé%	0.16	0.08	0.03
K	mé%	0.06	0.10	0.03
Somme des bases	mé%	2.97	1.28	0.82
Capacité d'échange	mé%	8.05	4.68	2.85
Saturation	%	36.9	27.3	28.7
pH (eau)		5.25	4.95	5.30

PROFIL AL. 7

Localisation : 1 km au Sud du barrage de Sahamaloto, dans un bas-fond large de 400 mètres.

Date de l'observation : 5 juillet 1983

Nature du matériau : altération fluée riche en sable quartzeux.

Type de sol : sol hydromorphe organique tourbeux à tourbe peu épaisse sur "sable blanc" lavé. (Pseudo-podzol de nappe).

Unité de milieu : bas-fond unité 23.

Utilisation du sol : rizière et végétation hygrophile associée.

Description :

- 0 - 20 cm : noir, sablo-tourbeux, nombreux débris végétaux non décomposés structure fibreuse. Sable exclusivement quartzeux (absence de mica). Léger, spongieux, limite nette et régulière avec l'horizon inférieur.
- 20 - 80 cm : sable quartzeux pur (absence de mica) humide ; couleur beige sans taches (matériau lavé) , blanchissant en séchant. Absence de structure. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.
- 80 -100 cm : brun ; limono-sableux, (sans mica) ; légère accumulation de matière organique humifiée ; gorgé d'eau.
- 80 -110 cm : brunâtre très humide texture limono-argilo-sableuse. Légère accumulation de matière organique et de fer (allotique).
- 110 -120 cm : gris beige tacheté de rouille , humide à gorgé. Texture limono-argilo-sableuse à argilo-sableuse. Structure massive (matériau colmaté).

Echantillon	AL	71	72	73	74
Profondeur	CM	0-20	20-80	80-100	100-120
Humidité à pF 4,2	%	6.8	0.9	9.3	11.5
Humidité à pF 3,0	%	12.5	1.3	13.6	14.1
Argile (0-2 μ)	%	4.9		22.2	36.7
Limon fin (2-20 μ)	%	5.6		2.0	1.0
Limon grossier (20-50 μ)	%	1.1		3.9	1.7
Sable fin (50-200 μ)	%	24.0		13.1	5.8
Sable grossier (200-2000 μ)	%	64.4		58.7	54.8
Matière organique	%	4.24	0.33	1.14	0.38
Carbone	%	2.46	0.19	0.66	0.22
Azote total	%	2.48	0.18	0.68	0.24
Rapport C/N		10	11	10	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	37.6	8.2	125	47
Ca	mé%	018	012	007	019
Mg	mé%	005	010	004	006
Na	mé%	005	002	002	003
K	mé%	010	003	010	003
Somme des bases	mé%	038	027	023	031
Capacité d'échange	mé%	6.67	0.76	7.97	5.08
Saturation	%	5.7	35.5	2.9	6.1
pH (eau)		4.20	4.40	4.30	4.70

PROFIL AL. 8

Localisation : 2 km au NE de Sahamaloto.

Date de l'observation : 5 juillet 1983

Nature du matériau : argilo-sableuse de "fluage"

Type de sol : sol hydromorphe minéral argilo-sableux

Unité de milieu : glaciais-terrasse récent légèrement perché au-dessus de la plaine de niveau de base actuel. Unité 21.

Utilisation du sol : non cultivé. Etendue à chiendent pâturée par les boeufs.

Description :

- 0 - 20 cm : gris foncé, assez humifère. Texture sablo-limoneuse à limono-sableuse (sables grossiers dominants, absence de mica). Racines fines nombreuses. Structure polyédrique ébauchée peu développée. Sec. Transition assez nette avec l'horizon inférieur.
- 20 - 40 cm : gris à gris foncé, tacheté de jaune (taches peu contrastées). Texture limono-argilo-sableuse à sables exclusivement quartzeux (sables grossiers dominants). Sec. Structure massive. Consistance compacte. Transition progressive avec l'horizon inférieur.
- 40 - 120 cm : beige-grisâtre ; taches jaune, ocre et rouge contrastées. Texture argilo-sableuse à sables exclusivement quartzeux (sables grossiers dominants). Le sable devient de plus en plus grossier avec la profondeur pour passer à des graviers à 120 cm. Structure massive compacte.

Echantillon	AL	81	82	83
Profondeur	CM	0-20	20-40	40-120
Humidité à pF 4,2	%	10.9	10.0	10.7
Humidité à pF 3,0	%	14.6	14.1	13.0
Argile (0-2 μ)	%	20.9	24.5	30.6
Limon fin (2-20 μ)	%	7.6	7.2	4.8
Limon grossier (20-50 μ)	%	7.6	7.0	5.7
Sable fin (50-200 μ)	%	15.2	15.7	13.3
Sable grossier (200-2000 μ)	%	48.7	45.7	45.5
Matière organique	%	3.07	1.60	0.65
Carbone	%	1.78	0.93	0.38
Azote total	‰	1.81	0.91	0.40
Rapport C/N		10	10	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	23	13	34
Ca	mé%	041	008	005
Mg	mé%	020	004	003
Na	mé%	012	003	002
K	mé%	001	001	002
Somme des bases	mé%	074	016	012
Capacité d'échange	mé%	8.23	5.12	4.08
Saturation	%	9	3.1	2.9
pH (eau)		5.00	4.95	5.05

PROFIL AL. 9

Localisation : "gouttière" de Morafeno, branchée sur le Nord du cône de l'Anony, au piémont Oriental du massif de Mahatsinjo. Environ 4,5 km au NW de Tanambe.

Date de l'observation : 7 juillet 1983.

Nature du matériau : épandage fluviatile actuel : balboho limono-micacé

Type de sol : sol peu évolué d'apport hydromorphe sur alluvions limono-micacées.

Unité de milieu : intermédiaire entre unité 44 et unité 46

Description :

- 0 - 40 cm : brun-rougeâtre, fines tubulures rouges (racines de riz). Texture limoneuse ; présence de micas. Structure polyédrique anguleuse grossière (due à la riziculture). Transition peu nette avec l'horizon inférieur.
- 40 - 60 cm : brun-rougeâtre. Sans taches. Texture limoneuse à limono-sableuse. Fins micas. Structure polyédrique bien exprimée. Friable. Humide. Poreux. Transition nette avec les strates sous-jacentes.
- 60 -120 cm : brun jaunâtre (moins réoxydé qu'au dessus), taches noires, texture limoneuse à limono-sableuse, micacée. Humide (nappe vers 80 cm). Friable, poreux. Faible densité apparente.

Echantillon	AL	91	92	93
Profondeur	CM	0-40	40-60	60-120
Humidité à pF 4,2	%	16.1	22.4	20.8
Humidité à pF 3,0	%	28.1	44.4	44.1
Argile (0-2 μ)	%	16.0	30.0	21.6
Limon fin (2-20 μ)	%	17.3	38.2	39.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	18.8	19.5	23.3
Sable fin (50-200 μ)	%	29.6	9.7	13.1
Sable grossier (200-2000 μ)	%	18.3	2.6	2.7
Matière organique	%	1.26	2.0	1.22
Carbone	%	0.73	1.16	0.71
Azote total	‰	0.85	1.15	0.65
Rapport C/N		9	10	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	17.7	7	7.8
Ca	mé%	4.96	4.51	3.76
Mg	mé%	5.10	5.00	4.35
Na	mé%	0.25	0.07	0.05
K	mé%	0.41	0.36	0.25
Somme des bases	mé%	10.74	9.94	8.41
Capacité d'échange	mé%	15.44	15.76	12.67
Saturation	%	69.5	63	66.3
pH (eau)		5.70	6.20	6.40

PROFIL AL. 10

Localisation : 1 km à l'Ouest du village d'Ankitsika, au Nord immédiat du cône de baiboho de l'Anony. Piémont Sud du massif de Mahatsinjo.

Date de l'observation : 7 juillet 1983

Nature du matériau : colluvions argileuses issues de l'érosion d'altérites argileuses rouge des massifs de gabbro.

Type de sol : sol peu évolué d'apport issu de l'érosion d'altérites ferrallitiques rouge et argileuse

Unité de milieu : glacis colluvial argileux. Unité 50

Utilisation du sol : cultures vivrières et arbustives

Description :

0 - 20 cm : brun-rouge foncé. Texture très argileuse (absence de sable et de mica). Absence de cailloux. Structure polyédrique anguleuse moyenne à fine. Racines fines abondantes. Transition distincte et régulière avec l'horizon inférieur.

20 -120 cm : rouge vif. Sans taches. Très homogène. Texture très argileuse, absence de sable, mica et éléments grossiers. Racines fines. Structure polyédrique fine très développée ; agrégats anguleux à faces luisantes. Excellent drainage.

Echantillon	AL	101	102	103
Profondeur	CM	0-20	20-50	50-120
Humidité à pF 4,2	%	19.2	20.8	17.7
Humidité à pF 3,0	%	24.1	25.8	25.1
Argile (0-2 μ)	%	64.6	62.8	38.0
Limon fin (2-20 μ)	%	9.6	14.5	27.9
Limon grossier (20-50 μ)	%	6.3	7.9	10.0
Sable fin (50-200 μ)	%	7.9	5.9	7.6
Sable grossier (200-2000 μ)	%	11.5	8.9	16.4
Matière organique	%	2.05	1.55	0.52
Carbone	%	1.19	0.90	0.30
Azote total	‰	1.28	0.92	0.32
Rapport C/N		9	10	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	28.6	33	24.6
Ca	mé%	1.98	2.01	1.87
Mg	mé%	1.16	0.78	1.31
Na	mé%	0.23	0.07	0.04
K	mé%	0.01	0.07	0.09
Somme des bases	mé%	3.38	2.93	3.31
Capacité d'échange	mé%	7.82	7.20	6.48
Saturation	%	43.2	40.7	51
pH (eau)		6.00	6.10	6.25

PROFIL AL. 11

Localisation : Entre le cône de l'Anony et la plaine d'Amboavory. 3,5 km au SW d'Amboavory, à 200 mètres à l'Est de la route goudronnée.

Date de l'observation : 7 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres argileuses.

Type de sol : sol hydromorphe moyennement organique à "anmoor", argileux

Unité de milieu : frange de fluctuation saisonnière des eaux libres de la cuvette centrale. Unité 34.

Utilisation du sol : non cultivé. Etendue à mimosées et à chiendent. Pâturage en saison sèche.

Description :

- 0 - 20 cm : gris très foncé à noirâtre. Argile humique, non tourbeuse ("anmoor"). Texture argileuse très fine, humide, compact, Faible porosité. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.
- 20 - 50 cm : gris foncé. Humide. Texture argileuse très fine ; frais ; compact ; faible porosité ; forte densité apparente. Transition progressive avec l'horizon inférieur.
- 50 -120 cm : gris à olive ; quelques taches jaune très peu contrastées. Texture argileuse très fine. Légèrement humide, à peine plastique forte densité apparente (très faible porosité). Présence de micro-géodes de gypse à partir de 75 cm de profondeur.

Echantillon	AL	111	112	113
Profondeur	CM	0-20	20-50	50-120
Humidité à pF 4,2	%	21.5	21.4	18.8
Humidité à pF 3,0	%	33.7	35.1	32.0
Argile (0-2 μ)	%	66.1	66.9	55.7
Limon fin (2-20 μ)	%	10.1	6.9	7.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	8.4	8.5	10.0
Sable fin (50-200 μ)	%	11.3	12.3	17.8
Sable grossier (200-2000 μ)	%	4.1	5.4	9.2
Matière organique	%	2.62	1.17	0.67
Carbone	%	1.52	0.68	0.39
Azote total	%	1.52	0.75	0.36
Rapport C/N		10	9	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	40.6	13.4	8.8
Ca	mé%	9.42	9.97	19.10
Mg	mé%	8.40	9.60	9.70
Na	mé%	0.46	0.13	0.08
K	mé%	0.36	0.41	1.00
Somme des bases	mé%	18.64	20.10	29.0
Capacité d'échange	mé%	25.89	24.16	20.16
Saturation	%	72	83.2	-
pH (eau)		5.50	6.80	7.50

PROFIL AL. 12

Localisation : aval de la plaine d'Amboavory : 500 mètres au SW d'Amboavory.

Date de l'observation : 7 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres argileuses reposant sur une "argile sableuse de fluage".

Type de sol : sol hydromorphe moyennement organique à "anmoor", de texture argileuse.

Unité de milieu : plaine alluviale fluvio-lacustre à sols moyennement organiques argileux. Unité 32.

Utilisation du sol : rizière

Description :

- 0 - 25 cm : horizon rizicultivé, de couleur sombre, gris-noirâtre, non tourbeux ("anmoor"). Texture argileuse très fine. Frais. Structure polyédrique fine à grumeleuse, bien développée. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.
- 25 - 45 cm : gris foncé, encore humique ("anmoor"). Texture argileuse très fine. Structure polyédrique à l'état sec. Humide. Plastique. Faible porosité. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.
- 45 -120 cm : gris sans taches (matériau gleyfié) ; très homogène ; structure polyédrique à massive. Texture argilo-sableuse (à sables fins et moyens).

Echantillon	AL	121	122	123
Profondeur	CM	0-25	25-45	45-120
Humidité à pF 4,2	%	23.6	25.4	22.4
Humidité à pF 3,0	%	37.7	38.4	34.8
Argile (0-2 μ)	%	74.0	64.7	77.8
Limon fin (2-20 μ)	%	13.2	25.6	6.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	8.3	6.2	4.5
Sable fin (50-200 μ)	%	3.2	2.4	3.8
Sable grossier (200-2000 μ)	%	1.2	1.2	7.6
Matière organique	%	4.08	3.05	1.03
Carbone	%	2.37	1.77	0.60
Azote total	‰	2.27	1.79	0.53
Rapport C/N		10	10	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	16	15.6	10.5
Ca	mé%	9.11	11.40	9.16
Mg	mé%	6.45	8.00	6.75
Na	mé%	0.06	0.04	0.03
K	mé%	0.32	0.39	0.37
Somme des bases	mé%	15.94	19.83	16.31
Capacité d'échange	mé%	22.79	24.35	18.12
Saturation	%	70	81.4	90
pH (eau)		5.65	6.55	6.80

PROFIL AL. 13

Localisation : 4 km au Nord de Vohitraivo, en bordure de la route d'Andilamena.

Date de l'observation : 8 juillet 1983

Nature du matériau : "roche pourrie" recouverte par un matériau argilo-sableux de fluage ancien, sur le plateau résiduel.

Type de sol : sol ferrallitique fortement désaturé gibbsitique ocre.

Unité de milieu : plateau sommital (niveau de base ancien) sans matériau alluvial stratifié. Unité 16.

Utilisation du sol : absence de culture. Savane herbeuse à *Aristida*.

Description :

0 - 20 cm : brun-jaunâtre. Racines fines de graminées. Texture limono-sableux. Absence d'éléments grossiers. Absence de mica. Structure polyédrique fine émoussée. Friable. Sec. Transition distincte avec l'horizon inférieur.

20 -100 cm : jaune-ocre. Sans taches, quelques racines fines. Texture limono-argilo-sableuse. Absence d'éléments grossiers ; absence de mica. Structure polyédrique fine peu développée à massive. Friable. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.

100 -200 cm : ocre à rougeâtre ; sans taches, absence de racines. Texture limono-argilo-sableuse. Absence d'éléments grossiers, absence de mica, structure massive à polyédrique. Fragile.

A partir de 200 cm : après une ligne discontinue de cailloutis quartzeux (stone line) roche pourrie rosâtre, friable.

Echantillon	AL	131	132	133
Profondeur	CM	0-20	20-100	100-200
Humidité à pF 4,2	%	15.4	16.2	18.2
Humidité à pF 3,0	%	19.7	19.5	24.2
Argile (0-2 μ)	%	6.7	4.2	8.6
Limon fin (2-20 μ)	%	13.4	6.1	8.6
Limon grossier (20-50 μ)	%	15.8	10.9	11.5
Sable fin (50-200 μ)	%	35.2	31.8	32.1
Sable grossier (200-2000 μ)	%	29.0	47.0	39.1
Matière organique	%	2.64	1.22	0.57
Carbone	%	1.53	0.71	0.33
Azote total	‰	1.68	0.86	0.39
Rapport C/N		9	8	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	14.8	19	12.3
Ca	mé%	1.04	0.84	0.58
Mg	mé%	0.89	0.48	0.21
Na	mé%	0.17	0.14	0.08
K	mé%	0.03	0.05	0.02
Somme des bases	mé%	2.13	1.51	0.89
Capacité d'échange	mé%	7.67	3.51	2.72
Saturation	%	27.8	43	32.7
pH (eau)		6.20	6.05	5.90

PROFIL AL. 14

Localisation : 1 kilomètre à l'Est d'Andrebakely.

Date de l'observation : 8 juillet 1983.

Nature du matériau : matériau argilo-sableux de fluage (non alluvial)

Type de sol : sol ferrugineux tropical appauvri hydromorphe

Unité de milieu : niveau de base récent. Terrasse à sols argilo-sableux gris. jaune ; unité 20.

Utilisation du sol : étendue à chiendent. Zone anciennement cultivée (maïs, arachide, maïs).

Description :

0 - 20 cm : brun grisâtre. Texture limono-sableuse à sable (quartzeux) dominant. Absence d'éléments grossiers. Structure massive à polyédrique émoussée. Racines de Cynodon. Compact. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.

20 - 40 cm : jaune, quelques petites taches noirâtres. Texture limono sableuse à sable (quartzeux) dominant. Absence d'éléments grossiers. Structure très massive. Sec et compact. Pas de racines. Transition progressive avec l'horizon inférieur.

40 -120 cm :jaune, taches noirâtres ferro-manganiques. Texture limono-argilo-sableuse. Structure massive à polyédrique peu développée. Sec.

Echantillon	AL	141	142	143
Profondeur	CM	0-20	20-40	40-120
Humidité à pF 4,2	%	12.9	14.4	13.3
Humidité à pF 3,0	%	17.3	16.7	16.1
Argile (0-2 μ)	%	12.8	5.5	12.3
Limon fin (2-20 μ)	%	13.8	6.5	8.6
Limon grossier (20-50 μ)	%	8.2	14.7	13.5
Sable fin (50-200 μ)	%	21.4	30.4	29.7
Sable grossier (200-2000 μ)	%	43.8	42.9	36.0
Matière organique	%	2.64	1.76	0.83
Carbone	%	1.53	1.02	0.48
Azote total	‰	1.90	1.06	0.54
Rapport C/N		8	10	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	65	96	96
Ca	mé%	0.62	0.08	0.14
Mg	mé%	0.35	0.07	0.07
Na	mé%	0.07	0.02	0.02
K	mé%	0.08	0.03	0.01
Somme des bases	mé%	1.12	0.20	0.24
Capacité d'échange	mé%	6.66	4.43	2.96
Saturation	%	16.8	4.5	8.1
pH (eau)		5.25	5.00	5.25

PROFIL AL. 15

Localisation : 400 mètres au Sud du terrain d'aviation de Feramanga.

Date de l'observation : 9 juillet 1983

Nature du matériau : "argile sableuse de fluage".

Type de sol : sol hydromorphe minéral sur matériau riche en sables grossiers.

Unité de milieu : "glacis-plaine" de fluage du niveau de base actuel. Unité 25

Utilisation du sol : zone non cultivée (manque d'eau pour la riziculture).

Description :

- 0 - 30 cm : gris foncé. Texture limono-argilo-sableuse (sables quartzeux), absence de mica, absence d'éléments grossiers. Structure massive (pas de fissuration). Sec. Transition distincte avec l'horizon inférieur.
- 30 -100 cm : gris-verdâtre à taches brunes peu contrastées. Légèrement umide. Texture argilo-sableuse (sables quartzeux), pas de mica, pas d'éléments grossiers. Structure massive Compact. Transition progressive avec l'horizon inférieur.
- 100 -150 cm : gris-verdâtre ; taches brunes. Humide (capillarité à partir de la nappe située à 150 cm). Texture argilo-sableuse (sable quartzeux) ; absence de mica ; pas d'éléments grossiers. Structure massive.

Echantillon	AL	151	152	153
Profondeur	CM	0-30	30-100	100-150
Humidité à pF 4,2	%	10.7	14.8	20.4
Humidité à pF 3,0	%	15.0	27.5	34.2
Argile (0-2 μ)	%	21.0	44.0	52.0
Limon fin (2-20 μ)	%	10.8	11.0	13.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	14.9	13.5	14.1
Sable fin (50-200 μ)	%	33.5	17.1	12.9
Sable grossier (200-2000 μ)	%	19.8	14.4	7.7
Matière organique	%	2.76	0.76	0.65
Carbone	%	1.60	0.44	0.38
Azote total	%	1.48	0.40	0.34
Rapport C/N		11	11	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	11	10.4	23.6
Ca	mé%	2.72	4.63	15.40
Mg	mé%	4.55	7.90	11.60
Na	mé%	0.08	0.30	0.10
K	mé%	2.01	3.45	5.21
Somme des bases	mé%	9.36	16.28	32.3
Capacité d'échange	mé%	10.56	16.33	25.29
Saturation	%	88.6	99.7	-
pH (eau)		6.40	8.40	8.30

PROFIL AL. 16

Localisation : cône de la Mananamontana. 1 km au NW d'Ambandrika.

Date de l'observation : 9 juillet 1984

Nature du matériau : alluvions fluviatiles sub-actuelles limono-micacées, de type "baiboho".

Type de sol : sol peu évolué d'apport hydromorphe

Unité de milieu : alluvions fluviatiles. actuelles de plaine d'épandage, à texture limono-micacée dominante. Unité 46

Utilisation du sol : rizière

Description :

- 0 - 20 cm : brun-grisâtre ; taches rouille tubulaires fines (racines de riz). Frais à humide. Texture limoneuse ; paillettes de mica). Structure polyédrique grossière anguleuse (riziculture) ; racines de riz. Transition distincte avec l'horizon inférieur.
- 20 - 80 cm : brun-rougeâtre ; taches brune et taches noire d'hydromorphie. Texture limono-sableuse ; très micacée ; humide ; friable ; structure polyédrique peu nette. Transition nette à brutale avec l'horizon inférieur.
- 80 -120 cm : brun-rougeâtre ; nombreuses taches noire ; humide à fluant (nappe phréatique) ; texture sablo-limoneuse ; très riche en mica.

Echantillon	AL	161	162	163
Profondeur	CM	0-20	20-80	80-120
Humidité à pF 4,2	%	17.5	13.8	10.4
Humidité à pF 3,0	%	34.0	26.0	19.1
Argile (0-2 μ)	%	21.6	12.2	8.4
Limon fin (2-20 μ)	%	22.5	18.6	11.8
Limon grossier (20-50 μ)	%	19.0	24.4	13.8
Sable fin (50-200 μ)	%	27.4	37.6	53.5
Sable grossier (200-2000 μ)	%	9.6	7.3	12.5
Matière organique	%	2.0	0.74	0.46
Carbone	%	1.16	0.43	0.27
Azote total	‰	1.41	0.34	0.29
Rapport C/N		8	8	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	50.4	43.7	36
Ca	mé%	4.95	5.48	5.02
Mg	mé%	3.32	3.92	3.92
Na	mé%	0.13	0.11	0.10
K	mé%	0.16	0.25	0.10
Somme des bases	mé%	8.56	9.76	9.14
Capacité d'échange	mé%	15.03	13.14	10.90
Saturation	%	56.9	74.2	83.8
pH (eau)		5.75	6.65	6.65

PROFIL AL. 17

Localisation : P.C. 15, 4 km au Nord de l'extrémité d'Ambatondrazaka, près de la digue NS de dérivation avec le périmètre de Mananamontana.

Date de l'observation : 9 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres de texture argileuse

Type de sol : sol hydromorphe moyennement organique à "armoor", à texture argileuse.

Unité de milieu : unité 32.

Description :

0 - 30 cm : noir, non tourbeux, humide ; humique, gras et plastique ("armoor"). Texture argileuse fine ; absence de mica ; quelques grains de sable quartzueux visibles. Transition distincte avec l'horizon inférieur.

30 -120 cm : gris gleyfié, sans taches ; argile fine très homogène ; humide à gorgé (nappe à 50 cm) ; très plastique.

Echantillon	AL	171	172	173
Profondeur	CM	0-30	30-60	60-120
Humidité à pF 4,2	%	25.3	22.0	20.5
Humidité à pF 3,0	%	36.1	35.7	34.1
Argile (0-2 μ)	%	55.0	64.9	59.4
Limon fin (2-20 μ)	%	17.0	11.6	11.4
Limon grossier (20-50 μ)	%	7.8	7.2	9.3
Sable fin (50-200 μ)	%	11.6	10.8	12.3
Sable grossier (200-2000 μ)	%	8.6	5.6	7.7
Matière organique	%	5.69	1.86	1.07
Carbone	%	3.30	1.08	0.62
Azote total	‰	3.33	1.05	0.58
Rapport C/N		10	10	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	233	33.7	15.8
Ca	mé%	10.50	10.17	10.77
Mg	mé%	6.00	6.60	6.85
Na	mé%	0.15	0.15	0.15
K	mé%	0.30	0.24	0.22
Somme des bases	mé%	16.95	17.16	17.99
Capacité d'échange	mé%	29.55	22.71	21.50
Saturation	%	57.3	75.5	83.6
pH (eau)		5.65	6.00	7.00

PROFIL AL. 18

Localisation : presqu'île d'Antanajona. "Golfe" tourbeux ; 400 m au SE du village d'Antanajona.

Date de l'observation : 10 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres à tourbe semi-flottante grossière, épaisse.

Type de sol : tourbe grossière, non drainée semi-flottante, sur plus de 200 cm d'épaisseur.

Unité de milieu : tourbe flottante de la cuvette centrale. Unité 40

Utilisation du sol : aucune. Végétation dense de cypéracées (*Cyperus madagascariensis*).

Description :

0 - 40 cm : brun très foncé. Débris végétaux très grossiers (*Cyperus*) ; matrice limoneuse peu abondante. Matériau très fluant (nappe affleurante). Très spongieux. Instable.

40 - 200 cm : brun-rouge très foncé. Débris végétaux grossiers exclusifs ; très fluant (eau libre). Très faible densité apparente.

Echantillon	AL	181	182	183
Profondeur	CM	0-20	20-40	40-200
Humidité à pF 4,2	%	37.4	38.9	
Humidité à pF 3,0	%	57.0	56.3	
Argile (0-2 µ)	%	62.0	62.9	11.4
Limon fin (2-20 µ)	%	24.8	25.2	3.0
Limon grossier (20-50 µ)	%	10.2	8.7	0.9
Sable fin (50-200 µ)	%	2.3	2.0	0.9
Sable grossier (200-2000 µ)	%	0.6	1.2	1.1
Matière organique	%	9.36	12.6	11.84
Carbone	%	5.43	7.30	6.87
Azote total	‰	5.92	6.10	6.40
Rapport C/N		9	12	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	316	255	87.5
Ca	mé%	4.96	4.79	20.20
Mg	mé%	0.93	0.80	3.49
Na	mé%	0.17	0.12	0.08
K	mé%	0.10	0.07	0.25
Somme des bases	mé%	6.17	5.78	24.02
Capacité d'échange	mé%	29.23	31.95	69.92
Saturation	%	21.1	18.1	34.3
pH (eau)		4.85	4.75	3.95

Localisation : extrémité aval extrême de la plaine de l'Iakana. 400 mètres au NW du village d'Antanimena.

Date de l'observation : 10 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres argileuses.

Type de sols : sol hydromorphe organique à tourbe résiduelle de 50 cm d'épaisseur recouverte par 10 cm de "baiboho" argilo-limoneux.

Unité de milieu : plaine fluvio-lacustre à sols tourbeux, aménagée et drainée récemment, à tourbe résiduelle encore épaisse, sur matériau très argileux. Unité 35.

Utilisation du sol : rizière

Description :

- 0 - 10 cm : mince recouvrement de "baiboho" terminal. Brun grisâtre ; taches rouille ; texture argilo-limoneuse à argileuse ; très fins micas. Structure polyédrique anguleuse très grossière. Transition nette avec le matériau du dessous.
- 10 - 30 cm : cendres rose et petits granules durs de couleur orange (argile cuite). Ancienne tourbe non brûlée. Faible densité apparente ; extrêmement friable. Transition nette et ondulée avec l'horizon inférieur.
- 30 - 50 cm : argile humique ; gris très foncé ; non tourbeux ("anmoor") ; très finement structuré. Absence de mica. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.
- 50 - 120 cm : argile grise très fine, gleyfiée. Très plastique.

Echantillon	AL	191	192	193	194
Profondeur	CM	0-10	10-30	30-50	50-120
Humidité à pF 4,2	%	33.9	53.2	33.5	26.8
Humidité à pF 3,0	%	47.0	57.7	43.6	37.3
Argile (0-2 μ)	%	49.8	3.0	59.1	74.5
Limon fin (2-20 μ)	%	22.2	13.1	15.8	11.8
Limon grossier (20-50 μ)	%	7.7	11.7	5.7	6.1
Sable fin (50-200 μ)	%	12.3	17.4	9.7	3.6
Sable grossier (200-2000 μ)	%	7.9	54.7	9.8	4.0
Matière organique	%	5.95	5.41	3.57	2.10
Carbone	%	3.45	3.14	2.07	1.22
Azote total	‰	3.67	3.10	2.30	0.79
Rapport C/N		9	10	9	15
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	421	1000	366	36.7
Ca	mé%	5.55	5.36	6.63	4.98
Mg	mé%	1.57	1.22	1.96	1.90
Na	mé%	0.12	0.08	0.07	0.04
K	mé%	0.67	0.14	0.12	0.05
Somme des bases	mé%	7.91	6.80	8.78	6.97
Capacité d'échange	mé%	26.31	59.78	24.02	11.94
Saturation	%	30.0	11.3	36.5	58.3
pH (eau)		5.40	5.85	5.50	5.20

PROFIL AL. 20

Localisation : centre de la plaine de l'Ilakana ; 1,5 km au Nord du village d'Ambaiboho.

Date de l'observation : 10 juillet 1983

Nature du matériau : alluvions fluviatiles sub-actuelles, limono-micacées, du type "baiboho".

Type de sol : sol peu évolué d'apport hydromorphe.

Unité de milieu : plaine d'épandages fluviatiles terminales, à baibohos limono-micacés. Unité 46

Utilisation du sol : rizière.

Description :

0 - 20 cm : brun rougeâtre. Texture limono-argileuse ; micafins ; structure polyédrique à prismatique grossière anguleuse (due à la pratique de la riziculture aquatique). Transition nette avec l'horizon inférieur.

20 - 120 cm : rougeâtre ; quelques petites taches noire. Texture limoneuse ; très riche en mica. Humide. Absence de lentilles sableuses. Friable, poreux, drainant, structure polyédrique moyenne.

Echantillon	AL	201	202	203
Profondeur	CM	0-50	50-60	60-100
Humidité à pF 4,2	%	24.2	17.6	19.8
Humidité à pF 3,0	%	45.8	35.5	43.3
Argile (0-2 μ)	%	34.7	15.2	20.9
Limon fin (2-20 μ)	%	38.3	30.2	37.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	15.0	26.1	23.4
Sable fin (50-200 μ)	%	10.8	25.6	14.6
Sable grossier (200-2000 μ)	%	1.2	2.8	3.8
Matière organique	%	3.12	1.57	1.27
Carbone	%	1.81	0.91	0.74
Azote total	‰	1.81	0.85	0.80
Rapport C/N		10	11	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	19.6	29.5	24.2
Ca	mé%	2.25	2.02	2.79
Mg	mé%	1.77	1.79	2.17
Na	mé%	0.28	0.11	0.11
K	mé%	0.11	0.05	0.07
Somme des bases	mé%	4.41	3.97	5.14
Capacité d'échange	mé%	10.18	7.63	9.37
Saturation	%	43.3	52.0	54.8
pH (eau)		5.45	5.95	5.95

PROFIL AL. 21

Localisation : Extrême aval de la plaine de l'Ilakana, au contact de la cuvette centrale à "zozoro" ; 3,5 km au NNW du village d'Antsanqasanga.

Date de l'observation : 11 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres à texture argileuse.

Type de sol : sol hydromorphe organique tourbeux.

Unité de milieu : plaine fluvio-lacstre à sols tourbeux, zone aménagée et drainée depuis peu, à tourbe résiduelle encore épaisse, reposant sur une argile fine. Unité 37.

Utilisation du sol : rizière.

Description :

0 - 50 cm : tourbe noire. Finement fibreuse. Spongieuse, encore élastique, humide. Transition nette avec l'horizon inférieur.

50 - 60 cm : argile humique gris foncé ("anmoor"). Texture argileuse fine. Pas de mica. Pas de débris végétaux. Plastique. Structure prismatique à polyédrique, moyenne à grossière. Transition progressive avec l'horizon inférieur.

60 -120 cm : argile fine grise homogène (gley). Peu poreuse, plastique (nappe à 60 cm).

Echantillon	AL	211	212	213
Profondeur	CM	0-25	25-50	50-120
Humidité à pF 4,2	%	33.3	28.3	25.0
Humidité à pF 3,0	%	50.4	37.4	34.5
Argile (0-2 μ)	%	50.9	73.5	79.2
Limon fin (2-20 μ)	%	25.1	9.7	6.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	7.5	5.1	3.1
Sable fin (50-200 μ)	%	11.5	5.3	6.1
Sable grossier (200-2000 μ)	%	5.0	6.4	5.1
Matière organique	%	7.21	5.29	1.84
Carbone	%	4.1 8	3.07	1.07
Azote total	%	4.55	2.85	1.02
Rapport C/N		9	11	11
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	243.5	98	15
Ca	mé%	5.36	6.40	3.91
Mg	mé%	2.08	2.91	2.09
Na	mé%	0.12	0.04	0.03
K	mé%	0.27	0.17	0.09
Somme des bases	mé%	7.83	9.52	6.12
Capacité d'échange	mé%	31.46	21.12	10.46
Saturation	%	24.9	45.1	58.5
pH (eau)		5.35	5.45	5.00

PROFIL AL. 22

Localisation : baiboho de la Lohafasika-Ouest ; 1 km NE de Vohidiala.

Date de l'observation : 12 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluviatiles sub-actuelles limono-micacées, du type "baiboho".

Type de sol : sol peu évolué d'apport hydromorphe.

Unité de milieu : plaine d'épandages fluviatiles à "baibohos" limono-micacés.
Unité 46

Utilisation du sol : rizière

Description :

0 - 20 cm : brun rougeâtre clair. Fines taches rouille autour des racines de riz. Texture argilo-limoneuse ; très fines paillettes de mica. Sec. Structure polyédrique à prismatique anguleuse (due à la pratique de la riziculture aquatique). Transition nette avec l'horizon inférieur.

20 - 80 cm : rougeâtre clair. Petites taches noires. Humide. Texture argilo-limoneuse à limono-argileuse. Fines paillettes de mica. Structure polyédrique moyenne. Poreux, friable. Limite brutale avec le matériau inférieur.

80 -120 cm : on change de matériau. Il s'agit d'une "matériau de fluage". Gris tacheté de jaune. Texture limono-sableuse (sables quartzueux grossiers) ; absence de micas. Structure massive.

Echantillon	AL	221	222	223
Profondeur	CM	0-20	20-80	80-120
Humidité à pF 4,2	%	27.1	29.9	7.9
Humidité à pF 3,0	%	45.2	45.5	12.2
Argile (0-2 μ)	%	47.2	51.7	20.0
Limon fin (2-20 μ)	%	37.4	33.3	9.4
Limon grossier (20-50 μ)	%	11.2	9.2	5.7
Sable fin (50-200 μ)	%	2.2	2.0	21.7
Sable grossier (200-2000 μ)	%	1.9	3.8	43.2
Matière organique	%	2.34	1.83	1.03
Carbone	%	1.36	1.06	0.40
Azote total	‰	1.52	1.07	0.83
Rapport C/N		9	10	7
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	13.6	11	11.5
Ca	mé%	2.61	2.37	0.31
Mg	mé%	2.75	3.10	0.11
Na	mé%	0.08	0.07	0.06
K	mé%	0.16	0.20	0.03
Somme des bases	mé%	5.60	5.74	0.51
Capacité d'échange	mé%	11.67	9.78	3.95
Saturation	%	48	58.7	12.9
pH (eau)		5.45	5.60	5.10

PROFIL AL. 23

Localisation : plaine de la Lohafasika-Ouest ; 800 mètres au Nord de Vohidiala.

Date de l'observation : 12 juillet 1983.

Nature du matériau : matériau argilo-sableux de fluage.

Type de sol : sol hydromorphe minéral sur matériau argilo-sableux.

Unité de milieu : glacis-plaine de fluage des niveaux de base actuel. Unité 25.

Utilisation du sol : rizière

Description :

0 - 20 cm : gris ; taches rouille fines. Texture limono-sableuse (sables quartzeux) ; absence de mica ; structure massive. Transition distincte avec l'horizon inférieur.

20 - 80 cm : gris, taches jaune peu contrastées ; texture limono-argilo-sableuse, à sables quartzeux, sans mica. Structure massive. Peu poreux ; compact. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.

80 -120 cm : grandes taches jaunâtre sur fond gris ; texture argilo-sableuse (sables moyens et grossiers quartzeux, sans micas) ; structure massive, peu poreux. Humide.

Echantillon	AL	231	232	233
Profondeur	CM	0-20	20-80	80-120
Humidité à pF 4,2	%	5.1	9.9	41.6
Humidité à pF 3,0	%	8.4	14.4	72.8
Argile (0-2 μ)	%	15.9	30.6	23.9
Limon fin (2-20 μ)	%	3.7	4.7	54.0
Limon grossier (20-50 μ)	%	3.1	0.3	13.6
Sable fin (50-200 μ)	%	21.1	15.7	5.9
Sable grossier (200-2000 μ)	%	56.0	48.6	2.6
Matière organique	%	0.46	0.40	8.93
Carbone	%	0.27	0.23	5.18
Azote total	%	0.30	0.18	5.33
Rapport C/N		9	8	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	5.7	12.6	5.26
Ca	mé%	0.45	0.11	23.20
Mg	mé%	0.30	0.11	5.80
Na	mé%	0.03	0.02	0.13
K	mé%	0.07	0.12	0.22
Somme des bases	mé%	0.85	0.36	29.35
Capacité d'échange	mé%	2.28	4.39	66.14
Saturation	%	37.3	8.2	44.3
pH (eau)		5.65	5.45	4.85

PROFIL AL. 24

Localisation : bordure Nord du P. C. 23. 3 km à l'Est d'Ambongalava (SOMALAC).

Date de l'observation : 13 juillet 1983

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres à texture hétérogène.

Type de sol : sol hydromorphe organique tourbeux

Unité de milieu : plaine fluvio-lacustre à sols tourbeux récemment drainés. Unité 37.

Utilisation du sol : rizière récente.

Description :

0 - 50 cm : tourbe noire à passées brun-rouge très foncé. Structure fibreuse (débris végétaux). Spongieux, élastique (en cours de tassement). Fluant (nappe phréatique sub-affleurante).

50 - 80 cm : limon sableux organique gris foncé ("anmoor") fluant (noyé par la nappe).

80 -120 cm : sable limoneux gris-beige, fluant, noyé par la nappe.

Echantillon	AL	241	242	243
Profondeur	CM	0-50	50-80	80-120
Humidité à pF 4,2	%	24.6	9.7	29.9
Humidité à pF 3,0	%	36.3	14.2	76.0
Argile (0-2 μ)	%	50.8	19.7	11.6
Limon fin (2-20 μ)	%	16.6	8.1	37.9
Limon grossier (20-50 μ)	%	6.7	5.2	29.0
Sable fin (50-200 μ)	%	10.0	18.5	13.4
Sable grossier (200-2000 μ)	%	15.9	48.5	8.1
Matière organique	%	32.03	1.34	8.07
Carbone	%	12.58	0.78	4.68
Azote total	%	2.79	0.64	4.74
Rapport C/N		68	12	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	25	15.4	11.86
Ca	mé%	2.95	1.26	1.48
Mg	mé%	1.48	0.61	0.33
Na	mé%	0.11	0.10	0.17
K	mé%	0.02	0.03	0.22
Somme des bases	mé%	4.56	2.00	2.20
Capacité d'échange	mé%	14.20	4.42	21.43
Saturation	%	32.1	45.2	10.2
pH (eau)		4.70	4.90	5.45

PROFIL AL 25

Localisation : P.C. 23. 3 km au Sud-Est d'Ambongalava-SOMALAC.

Date de l'observation : 13 juillet 1983

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres argileuses.

Type de sol : sol hydromorphe organique tourbeux

Unité de milieu : plaine fluvio-lacustre tourbeuse; zone aménagée et drainée depuis peu. Unité 37.

Utilisation du sol : rizière.

Description :

0 - 70 cm : tourbe brun à rouge très foncé, passées rose cendreuse à la base. Structure fibreuse (fins débris végétaux). Humide. Très peu dense. Spongieux, élastique, (en cours de tassement).

70 -120 cm : argile humique gris-foncé ("anmoor"), plastique ; peu poreux ; structure polyédrique à prismatique.

Echantillon	AL	251	252	253
Profondeur	CM	0-30	30-70	70-120
Humidité à pF 4,2	%	29.6	21.9	8.4
Humidité à pF 3,0	%	71.0	31.3	11.9
Argile (0-2 μ)	%	15.3	54.5	24.3
Limon fin (2-20 μ)	%	41.2	14.4	5.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	17.9	8.1	8.6
Sable fin (50-200 μ)	%	16.5	10.1	34.4
Sable grossier (200-2000 μ)	%	9.1	12.8	27.4
Matière organique	%	10.34	4.76	2.03
Carbone	%	6.0	2.76	1.18
Azote total	%	4.74	2.09	1.25
Rapport C/N		13	13	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	1122	92	13
Ca	mé%	1.64	2.62	0.90
Mg	mé%	0.48	1.00	0.22
Na	mé%	0.14	0.06	0.06
K	mé%	0.16	0.02	0.04
Somme des bases	mé%	2.42	3.70	1.21
Capacité d'échange	mé%	25.32	13.64	4.48
Saturation	%	9.5	27	27
pH (eau)		5.35	5.15	5.20

PROFIL AL. 26

Localisation : "gouttière" de la Lovoka. 3 km au Sud du village d'Antanifotsy.

Date de l'observation : 14 juillet 1983

Nature du matériau : matériau argilo-sableux de "fluage".

Type de sol : sol ferrugineux tropical appauvri hydromorphe.

Unité de milieu : niveau de base récent : terrasse à sols "gris/jaune".

Utilisation du sol : non cultivé. Végétation de chiendent.

Description :

0 - 30 cm : gris foncé ; sans tache ; texture limono-sableuse (sable quartzeux, sans mica). Structure massive ; sec ; très compact. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.

30 -100 cm : couleur olive ; quelques concrétions rondes ("plombs de chasse") ferro-manganiques ; texture limono-argilo-sableuse (sans mica). Structure massive. Compact.

à 100 cm : "stone line" de cailloutis quartzeux.

100 -150 cm : rouge clair, bariolé de jaune et de rose. (zone d'altération en place) ; présence de fins micas. Structure polyédrique anguleuse bien développée. Texture argilo-sableuse.

Echantillon	AL	261	262	263
Profondeur	CM	0-30	30-100	100-150
Humidité à pF 4,2	%	8.8	26.4	14.4
Humidité à pF 3,0	%	11.4	32.7	18.5
Argile (0-2 μ)	%	32.7	17.4	44.4
Limon fin (2-20 μ)	%	3.1	28.8	5.5
Limon grossier (20-50 μ)	%	5.8	14.9	7.2
Sable fin (50-200 μ)	%	33.3	21.2	24.3
Sable grossier (200-2000 μ)	%	25.2	17.8	18.6
Matière organique	%	0.88	5.93	0.52
Carbone	%	0.51	3.44	0.30
Azote total	‰	0.57	3.58	0.22
Rapport C/N		9	10	14
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	20	234	15.3
Ca	mé%	0.47	1.53	1.89
Mg	mé%	0.02	0.58	1.59
Na	mé%	0.03	0.19	0.02
K	mé%	0.07	0.07	0.10
Somme des bases	mé%	0.59	2.37	3.60
Capacité d'échange	mé%	3.04	15.37	5.91
Saturation	%	19.4	15.4	60.9
pH (eau)		5.55	5.40	5.70

PROFIL AL. 27

Localisation : interfluve Lovoka-Kelivava. 6 km au Sud d'Imerimandroso.

Date de l'observation : 14 juillet 1983.

Nature du matériau : altérite ferrallitique sur roche amphibolitique.

Type de sol : sol ferrallitique rouge forement désaturé gibbsitique sur gneiss à amphibole.

Unité de milieu : reliefs collinaires peu pentus sur gneiss à amphibole et amphibolite. unité 12.

Utilisation du sol : non cultivé. Savane herbeuse à *Aristida*.

Description :

- 0 - 25 cm : rouge sombre. Nombreuses racines fines de graminées. Structure polyédrique fine bien développée. Texture argilo-limoneuse. Absence de mica ; absence d'éléments grossiers. Sec. Transition distincte avec l'horizon inférieur.
- 25 - 60 cm : rouge foncé à rouge vif. Pas de taches ; racines fines de graminées. Structure polyédrique moyenne à fine bien développée ; texture argilo-limoneuse. Absence de mica, absence d'éléments grossiers. Sec. Transition très graduelle avec l'horizon inférieur.
- 60 -120 cm : rouge "lie de vin" ; homogène, sans taches, sec ; structure polyédrique moyenne à fine anguleuse, très développée ; texture argileuse. Pas de mica, pas d'éléments grossiers.

Echantillon	AL	271	272	273
Profondeur	CM	0-25	25-60	60-120
Humidité à pF 4,2	%	18.1	18.3	17.8
Humidité à pF 3,0	%	23.6	23.6	21.2
Argile (0-2 μ)	%	28.0	17.8	4.1
Limon fin (2-20 μ)	%	28.6	29.0	13.6
Limon grossier (20-50 μ)	%	15.6	22.3	31.2
Sable fin (50-200 μ)	%	15.5	19.3	38.2
Sable grossier (200-2000 μ)	%	12.4	11.5	12.8
Matière organique	%	3.40	2.31	0.91
Carbone	%	1.97	1.34	0.53
Azote total	‰	2.0	1.61	0.57
Rapport C/N		10	8	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	15	13	22
Ca	mé%	2.21	1.01	1.06
Mg	mé%	0.90	0.26	0.19
Na	mé%	0.07	0.04	0.01
K	mé%	3.25	1.34	1.27
Somme des bases	mé%	8.53	4.80	3.27
Capacité d'échange	mé%	38.1	27.9	38.8
Saturation	%	5.75	5.85	6.15
pH (eau)				

PROFIL AL. 28

Localisation : plaine de la Lovoka ; 3 km au Sud du village d'Antanifotsy.

Date de l'observation : 14 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions sub-actuelles argileuses.

Type de sol : sol peu évolué d'apport hydromorphe argileux.

Unité de milieu : alluvions argileuses des vallées aval. "Baibohos" argileux.
Unité 44.

Utilisation du sol : rizière

Description :

- 0 - 25 cm : brun foncé ; taches noires le long des racines de riz. Sec.
Structure prismatique anguleuse (due à la riziculture aquatique).
Texture argileuse à argilo-limoneuse. Absence de mica ; absence
d'éléments grossiers. Transition nette avec l'horizon inférieur.
- 25 -120 cm : brun vif à brun rougeâtre. Quelques taches rouille et noire.
Humide à partir de 50 cm. Homogène ; structure polyédrique
grossière nette. Texture argileuse à argilo-limoneuse. Absence
de mica ; absence d'éléments grossiers, porosité fine.

Echantillon	AL	281	282	283
Profondeur	CM	0-25	25-60	60-120
Humidité à pF 4,2	%	25.5	25.8	25.4
Humidité à pF 3,0	%	38.2	38.9	39.0
Argile (0-2 μ)	%	47.1	49.0	43.6
Limon fin (2-20 μ)	%	30.3	29.7	34.4
Limon grossier (20-50 μ)	%	13.3	11.2	12.3
Sable fin (50-200 μ)	%	6.7	8.2	7.5
Sable grossier (200-2000 μ)	%	2.6	1.8	2.2
Matière organique	%	3.08	2.15	1.65
Carbone	%	1.79	1.25	0.96
Azote total	%	2.00	1.64	1.01
Rapport C/N		9	8	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	29	34	39
Ca	mé%	9.89	11.06	10.27
Mg	mé%	7.20	8.40	7.70
Na	mé%	0.09	0.06	0.07
K	mé%	0.44	0.57	0.64
Somme des bases	mé%	17.62	20.09	18.68
Capacité d'échange	mé%	24.11	23.08	21.33
Saturation	%	73.1	87	87
pH (eau)		6.55	7.55	7.70

Localisation : plaine Imamba-Ivakaka. 3 km au Sud du village d'Ivakaka.

Date de l'observation : 15 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres argileuses.

Type de sol : sol hydromorphe organique tourbeux à tourbe résiduelle peu épaisse.

Unité de milieu : plaine fluvio-lacustre à sols hydromorphes tourbeux, aménagée et drainée, à tourbe résiduelle peu épaisse sur matériau argileux. Unité 35.

Utilisation du sol : rizière.

Description :

0 - 30 cm : tourbe noire, humide, gorgée. Structure finement fibreuse à grumeleuse. Très poreux.

30 - 40 cm : cendre rose à grisâtre et quelques nodules oranges très durs d'argile cuite. Très léger. Transition nette avec l'horizon inférieur.

40 -120 cm : argile fine grise gleyifiée, homogène, à faible porosité.

Echantillon	AL	291	292	293
Profondeur	CM	0-30	30-40	40-120
Humidité à pF 4,2	%	38.9	38.8	18.5
Humidité à pF 3,0	%	74.3	58.6	27.7
Argile (0-2 μ)	%	16.8	63.4	46.7
Limon fin (2-20 μ)	%	42.1	18.8	13.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	15.1	6.6	6.1
Sable fin (50-200 μ)	%	17.7	7.1	10.7
Sable grossier (200-2000 μ)	%	8.3	4.1	23.2
Matière organique	%	14.03	13.84	2.90
Carbone	%	8.14	8.03	1.68
Azote total	‰	4.94	4.62	1.42
Rapport C/N		16	17	12
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	559	241	16
Ca	mé%	0.91	2.76	1.39
Mg	mé%	0.29	0.68	0.50
Na	mé%	0.07	0.05	0.03
K	mé%	0.10	0.10	0.01
Somme des bases	mé%	1.37	3.59	1.93
Capacité d'échange	mé%	36.97	34.92	8.01
Saturation	%	3.7	10.3	24.1
pH (eau)		4.80	4.55	4.75

Localisation : Est de la presqu'île de Vohitany. Entre les villages d'Ampilahoana et de Nosybe.

Date de l'observation : 15 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres argileuses.

Type de scl : sol hydromorphe organique tourbeux

Unité de milieu : plaine fluvio-lacustre drainée récemment. Unité 37.

Utilisation du sol : rizières plus ou moins abandonnées.

Description :

0 - 40 cm : noir, tourbeux, structure finement tourbeuse, activement reprise par la méso-faune (vers de terre) ; sec. Evolution vers une structure grenue coprolithique. Transition très nette avec l'horizon inférieur.

40 - 80 cm : argile fine, gleyfiée, homogène. Grise à l'état humide, blanchâtre à l'état sec ; structure polyédrique anguleuse moyenne à grossière ; faible porosité (pores très fins). Transition très nette avec l'horizon inférieur.

80 -120 cm : argile sableuse. Probablement "matériau de fluage". Couleur grise à beige. Structure massive.

Echantillon	AL	301	302	303
Profondeur	CM	0-20	20-40	40-80
Humidité à pF 4,2	%	34.0	27.8	19.9
Humidité à pF 3,0	%	33.8	61.1	28.0
Argile (0-2 μ)	%	52.8	55.1	51.6
Limon fin (2-20 μ)	%	22.6	19.1	15.2
Limon grossier (20-50 μ)	%	13.3	15.4	8.8
Sable fin (50-200 μ)	%	7.2	5.8	10.0
Sable grossier (200-2000 μ)	%	4.2	4.6	14.4
Matière organique	%	16.32	7.52	1.96
Carbone	%	2.47	4.36	1.14
Azote total	‰	5.08	3.75	1.10
Rapport C/N		18	12	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	139	53	16
Ca	mé%	1.31	1.51	1.99
Mg	mé%	0.31	0.40	0.98
Na	mé%	0.21	0.10	0.07
K	mé%	0.03	0.02	0.01
Somme des bases	mé%	1.86	2.03	3.05
Capacité d'échange	mé%	35.97	18.93	7.76
Saturation	%	5.1	10.7	39
pH (eau)		4.25	4.60	4.85

PROFIL AL. 31

Localisation : côte Est ; près de la route, entre Ambohimanga et Andriba.
Environ 3 km au Sud d'Andriba.

Date de l'observation : 17 juillet 1983.

Nature du matériau : altérite fluée peu épaisse reposant sur roche pourrie de gneiss amphibolitique.

Type de sol : sol hydromorphe minéral à caractères vertiques.

Unité de milieu : "glacis-plaine" de fluage à sols argilo-sableux à caractères vertiques. Unité 27.

Utilisation du sol : non rizicultivé. Etendue à chiendent.

Description :

- 0 - 25 cm : gris-brun foncé. Structure polyédrique grossière ; très compact sec. Texture limono-argilo-sableuse ; absence d'éléments grossiers, absence de mica. Transition distincte avec l'horizon inférieur.
- 25 -100 cm : gris-olive ; taches brunes ; quelques nodules noirs ferro-manganiques ; sec ; structure prismatique à polyédrique grossière (grandes fentes). Texture argilo-sableuse. Absence d'éléments grossiers ; pas de mica. Très compact. Faible porosité. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.
- 100 -150 cm : olive, taches jaune et brune peu contrastées ; légèrement humide structure polyédrique grossière ; faces de glissement obliques luisantes et striées. Texture argilo-sableuse. Pas d'éléments grossiers ; pas de mica. Présence de micro-géodes de gypse.

Echantillon	AL	311	312	313
Profondeur	CM	0-25	25-100	100-150
Humidité à pF 4,2	%	11.3	18.8	18.4
Humidité à pF 3,0	%	15.7	27.0	29.5
Argile (0-2 μ)	%	22.2	48.7	46.5
Limon fin (2-20 μ)	%	11.6	11.3	13.0
Limon grossier (20-50 μ)	%	12.6	8.6	8.2
Sable fin (50-200 μ)	%	25.2	17.3	17.8
Sable grossier (200-2000 μ)	%	28.4	14.1	14.5
Matière organique	%	1.57	1.22	0.45
Carbone	%	0.91	0.71	0.26
Azote total	%	0.95	0.70	0.29
Rapport C/N		10	10	9
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	19	52	121
Ca	mé%	4.66	6.30	26.0
Mg	mé%	6.10	14.60	16.20
Na	mé%	0.10	0.19	0.20
K	mé%	0.50	2.13	4.96
Somme des bases	mé%	11.36	23.22	47.30
Capacité d'échange	mé%	12.93	24.17	10.52
Saturation	%	87.8	96	-
pH (eau)		7.35	7.70	8.20

PROFIL AL. 32

Localisation : 2 km au Sud du village de Sahamamy.

Date de l'observation : 19 juillet 1983.

Nature du matériau : matériau argilo-sableux issu du "fluaque" d'altérites

Type de sol : sol hydromorphe minéral.

Unité de milieu : glacis-plaine de fluaque du niveau de base actuel. Unité 25

Utilisation du sol : rizière

Description :

0 - 20 cm : gris à gris foncé. Taches rouille le long des racines de riz. Sec. Structure polyédrique à massive. Texture limono-argilo-sableuse (sables quartzeux exclusivement). Pas de mica et pas d'éléments grossiers. Transition distincte avec l'horizon inférieur.

20 - 70 cm : gris et taches jaunes. Sec à frais. Structure massive. Texture limono-argilo-sableuse (sables quartzeux) ; absence de mica et d'éléments grossiers. Transition progressive avec l'horizon inférieur.

70 -120 cm : gris clair et taches jaunes. Humide. Texture sableuse (sables grossiers). Structure massive.

Echantillon	AL	321	322	323
Profondeur	CM	0-20	20-40	40-70
Humidité à pF 4,2	%	10.8	10.2	9.4
Humidité à pF 3,0	%	15.6	12.2	13.3
Argile (0-2 μ)	%	24.0	23.7	28.1
Limon fin (2-20 μ)	%	12.3	8.6	5.3
Limon grossier (20-50 μ)	%	8.9	5.4	4.7
Sable fin (50-200 μ)	%	20.7	13.6	13.5
Sable grossier (200-2000 μ)	%	34.1	48.7	48.3
Matière organique	%	2.84	1.10	0.52
Carbone	%	1.65	0.64	0.30
Azote total	%	1.77	0.69	0.37
Rapport C/N		9	9	8
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	42	24	17
Ca	mé%	0.95	0.32	0.43
Mg	mé%	0.31	0.04	0.10
Na	mé%	0.10	0.03	0.02
K	mé%	0.15	0.03	0.03
Somme des bases	mé%	1.51	0.42	0.58
Capacité d'échange	mé%	23.14	3.79	3.36
Saturation	%	6.5	11	17.2
pH (eau)		5.40	4.85	4.80

PROFIL AL. 33

Localisation : extrémité aval du cône de l'Anony ; 2,5 km au NNE d'Anororo.

Date de l'observation : 19 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluviolacustres à texture hétérogène.

Type de sol : sol hydromorphe moyennement organique.

Unité de milieu : plaine fluviolacustre. Unité 33

Utilisation du sol : rizière.

Description :

0 - 25 cm : noir. Argile humique non tourbeuse ("anmoor"). Sec. Compact. Texture argileuse. Structure polyédrique à prismatique (fente de 5 mm de large). Transition nette avec l'horizon inférieur.

25 - 40 cm : gris ; taches jaunes peu contrastées. Texture limono-argilo-sableuse. Structure polyédrique. Humide. Plastique.

40 -120 cm : alternance de sable grossier beige et de sable fin à moyen de teinte verdâtre.

Echantillon	AL		331	332
Profondeur	CM		0-25	25-40
Humidité à pF 4,2	%		13.3	9.4
Humidité à pF 3,0	%		19.6	14.1
Argile (0-2 μ)	%		26.8	33.5
Limon fin (2-20 μ)	%		15.4	6.1
Limon grossier (20-50 μ)	%		10.2	5.5
Sable fin (50-200 μ)	%		23.7	23.8
Sable grossier (200-2000 μ)	%		23.9	31.1
Matière organique	%		3.08	0.84
Carbone	%		1.79	0.49
Azote total	‰		1.87	0.48
Rapport C/N			10	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm		57	8.4
Ca	mé%		9.56	5.99
Mg	mé%		2.87	2.22
Na	mé%		0.06	0.04
K	mé%		0.15	0.07
Somme des bases	mé%		12.64	8.32
Capacité d'échange	mé%		14.88	8.72
Saturation	%		84.9	95.4
pH (eau)			6.40	7.15

Localisation : PC 23. Cône de la Sahabe. 1 km au Sud d'Anosiboribory.

Date de l'observation : 20 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres à texture argileuse.

Type de sol : sol hydromorphe organique tourbeux à tourbe peu épaisse (30 cm).

Unité de milieu : plaine fluvio-lacustre (cône de la Sahabe), anciennement aménagée et drainée, à tourbe résiduelle peu épaisse sur matériau à texture hétérogène.

Utilisation du sol : rizière.

Description :

0 - 30 cm : tourbe noire. Structure finement fibreuse (très fins résidus végétaux) à grumeleuse (activité des vers de terre). Gras et limoneux à l'état humide. Structure prismatique moyenne à l'état sec. Très poreux. Tourbe stabilisée non élastique. Transition nette avec l'horizon inférieur.

30 - 50 cm : horizon de couleur gris-rosâtre (cendres) ; très friable, léger, non structuré ; présence de granules orangé très durs d'argile cuite. Transition très nette avec l'horizon inférieur.

50 -120 cm : argile très fine, grise, homogène, totalement gleyifiée ; gris clair à blanchâtre en séchant. Humide (nappe vers 60 cm de profondeur).

Echantillon	AL	341	342	343
Profondeur	CM	0-30	30-50	50-120
Humidité à pF 4,2	%	6.1	39.8	34.3
Humidité à pF 3,0	%	11.4	63.6	63.7
Argile (0-2 μ)	%	12.8	16.4	0
Limon fin (2-20 μ)	%	5.9	26.8	16.1
Limon grossier (20-50 μ)	%	21.7	11.8	22.7
Sable fin (50-200 μ)	%	17.2	25.2	26.6
Sable grossier (200-2000 μ)	%	42.4	19.8	34.6
Matière organique	%	0.29	9.45	2.08
Carbone	%	0.17	5.48	1.21
Azote total	%	0.12	4.34	0.95
Rapport C/N		14	13	13
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	6	497	461
Ca	mé%	4.01	1.49	0.73
Mg	mé%	1.32	0.41	0.22
Na	mé%	0.03	0.08	0.06
K	mé%	0.06	0.08	0.07
Somme des bases	mé%	5.42	2.06	1.08
Capacité d'échange	mé%	5.87	30.17	28.38
Saturation	%	92.3	6.8	3.8
pH (eau)		7.35	5.15	6.00

Localisation : 7 km au SSE d'Andilanatoby. Près de la route de Tananarive, en position de plateau sommital.

Date de l'observation : 21 juillet 1983

Nature du matériau : argile sableuse de "fluage" ancien.

Type de sol : sol ferrallitique fortement désaturé gibbsitique.

Unité de milieu : plateau sommital. Unité 17.

Utilisation du sol : non cultivé. Savane herbacée à *Aristida*.

Description :

0 - 10 cm : grisâtre. Très friable à poussiéreux; racines fines. Structure polyédrique émoussée très fragile. Texture sablo-limoneuse à sables moyens (quartz) ; absence de mica. Poreux. Transition nette avec l'horizon inférieur.

10 - 40 cm : jaune-ocre. Friable à poussiéreux. Structure polyédrique fragile à tendance massive. Texture sablo-limoneuse (à sable moyen quartzueux, sans mica) ; absence d'éléments grossiers. Poreux. Transition progressive avec le matériau inférieur.

40 -100 cm : ocre. Friable. Texture limono-sableuse (sables moyens quartzueux sans mica). Structure massive. Poreux.

Echantillon	AL	351	352	353
Profondeur	CM	0-10	10-40	40-100
Humidité à pF 4,2	%	27.6	8.8	8.3
Humidité à pF 3,0	%	39.6	12.2	11.8
Argile (0-2 μ)	%	77.7	3.7	1.3
Limon fin (2-20 μ)	%	13.4	11.2	11.1
Limon grossier (20-50 μ)	%	5.5	10.2	12.4
Sable fin (50-200 μ)	%	3.0	22.9	22.4
Sable grossier (200-2000 μ)	%	0.4	52.0	52.8
Matière organique	%	1.21	4.48	2.62
Carbone	%	0.70	2.60	1.52
Azote total	%	0.72	2.30	1.13
Rapport C/N		10	11	13
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	26	26	15
Ca	mé%	2.37	0.18	0.04
Mg	mé%	1.12	0.09	0.02
Na	mé%	0.04	0.06	0.03
K	mé%	0.06	0.03	0.01
Somme des bases	mé%	3.59	0.36	0.10
Capacité d'échange	mé%	8.34	5.60	4.02
Saturation	%	43	6.4	2.5
pH (eau)		5.40	5.90	5.85

Localisation : 1 km W-SW de Manakambahiny.

Date de l'observation : 21 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluvio-lacustres anciennes, surmontées d'une argile sableuse de fluage.

Type de sol : sol ferrallitique fortement désaturé gibbsitique.

Unité de milieu : glacis terrasse perché ancien.

Utilisation du sol : plantation d'*Eucalyptus*.

Description :

0 - 20 cm : gris, sans taches ; texture sablo-limoneuse (sables grossiers dominants), absence de mica et d'éléments grossiers. Racines abondantes (graminées, *Eucalyptus*). Structure fragile, (polyédrique émoussée). Transition nette avec l'horizon inférieur.

20 - 60 cm : jaune-olive ; sans taches ; racines encore abondantes ; structure massive ; friable ; texture limono-argileuse (à sables grossiers) poreux. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.

60 -120 cm : jaune ; sans taches ; pas de racine ; structure massive ; friable texture limono-sableuse (à sables grossiers), poreux. Absence d'éléments grossiers.

Echantillon	AL	361	362	363
Profondeur	CM	0-20	20-60	60-120
Humidité à pF 4,2	%	6.1	8.0	7.5
Humidité à pF 3,0	%	8.7	11.0	9.8
Argile (0-2 μ)	%	1.9	8.4	1.9
Limon fin (2-20 μ)	%	10.3	9.7	5.0
Limon grossier (20-50 μ)	%	15.3	6.8	11.1
Sable fin (50-200 μ)	%	24.0	21.1	32.3
Sable grossier (200-2000 μ)	%	48.4	54.0	49.7
Matière organique	%	0.68	2.60	0.65
Carbone	%	0.55	1.51	0.38
Azote total	%	0.39	1.21	0.37
Rapport C/N		14	12	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	7.6	17	14
Ca	mé%	0.08	0.09	0.11
Mg	mé%	0.02	0.09	0.04
Na	mé%	0.02	0.04	0.03
K	mé%	0.01	0.02	0.02
Somme des bases	mé%	0.13	0.24	0.20
Capacité d'échange	mé%	1.41	3.86	2.25
Saturation	%	9.2	6.2	8.9
pH (eau)		5.55	5.25	5.25

Localisation : cône de "baibohos" de l'Androgonona. 1 km à l'Ouest d'Andranomena (rive Est).

Date de l'observation : 22 juillet 1983.

Nature du matériau : alluvions fluviatiles sub-actuelles limono-micacés ("baiboho").

Type de sol : sol peu évolué d'apport hydromorphe.

Unité de milieu : épandages fluviatiles terminaux (cône de déjection) limono-micacés, de type baiboho. Unité 46.

Utilisation du sol : rizière

Description :

0 - 20 cm : brun-rougeâtre. Taches rouille fines (racines de riz). Structure polyédrique grossière (riziculture aquatique). Texture limoneuse. Présence de mica ; transition nette avec l'horizon inférieur.

20 - 50 cm : rougeâtre clair. Quelques petites taches noires. Structure polyédrique peu développée ; friable ; poreux. Texture limoneuse. Micabondants. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.

50 - 120 cm : beige ; taches brune peu contrastées. Humide. Structure polyédrique peu développée. Friable ; poreux. Texture limoneuse, mica abondant.

Echantillon	AL	371	372	373
Profondeur	CM	0-20	20-50	50-100
Humidité à pF 4,2	%	7.2	11.9	12.0
Humidité à pF 3,0	%	9.9	21.5	21.8
Argile (0-2 μ)	%	1.3	18.9	20.1
Limon fin (2-20 μ)	%	5.7	19.3	19.8
Limon grossier (20-50 μ)	%	9.9	12.2	14.6
Sable fin (50-200 μ)	%	34.0	30.3	26.4
Sable grossier (200-2000 μ)	%	49.2	19.3	19.0
Matière organique	%	0.57	2.46	1.64
Carbone	%	0.33	1.43	0.95
Azote total	%	0.32	1.67	1.26
Rapport C/N		10	9	8
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	17	15	12
Ca	mé%	0.13	5.73	5.09
Mg	mé%	0.04	4.01	3.74
Na	mé%	0.04	0.31	0.18
K	mé%	0.02	0.16	0.21
Somme des bases	mé%	0.23	10.21	9.22
Capacité d'échange	mé%	2.09	12.11	10.50
Saturation	%	11	84.3	87.8
pH (eau)		5.35	6.70	6.65

Localisation : 1 km au Nord d'Andrebakely, près de la route.

Date de l'observation : 8 juillet 1983.

Nature du matériau : argile sableuse de "fluage" ancien reposant sur altérite en place.

Type de sol : sol ferrallitique fortement désaturé gibbsitique.

Unité de milieu : glacis-terrasse perché, témoin d'un niveau de base ancien, sans matériau alluvial stratifié. Unité 18.

Utilisation du sol : cultures de maïs.

Description :

0 - 40 cm : brun-jaunâtre. Texture limono-sableuse (sables quartzux, sans mica) ; absence d'éléments grossiers. Structure polyédrique fine bien développée. Très friable. Racines abondantes. Transition distincte avec l'horizon sous-jacent.

40 - 80 cm : brun-jaune. Texture limoneuse (à sables quartzux, sans mica) ; absence d'éléments grossiers. Structure polyédrique. Quelques racines. Friable. Transition distincte avec l'horizon inférieur.

80 -120 cm : Ocre. Sans taches. Texture limoneuse (à sables quartzux, sans mica) ; absence d'éléments grossiers. Pas de racines. Structure polyédrique à massive.

Echantillon	AL	381	382	383
Profondeur	CM	0-40	40-80	80-120
Humidité à pF 4,2	%	8.2	26.8	25.0
Humidité à pF 3,0	%	14.5	31.6	29.1
Argile (0-2 μ)	%	9.9	4.0	5.2
Limon fin (2-20 μ)	%	12.4	15.0	10.5
Limon grossier (20-50 μ)	%	15.4	21.9	21.5
Sable fin (50-200 μ)	%	46.4	40.0	35.6
Sable grossier (200-2000 μ)	%	15.9	19.1	27.2
Matière organique	%	0.84	4.08	2.53
Carbone	%	0.49	2.37	1.47
Azote total	%	0.50	1.82	1.47
Rapport C/N		10	13	10
Phosphore assimilable (Olsen)	ppm	16	235	255
Ca	mé%	4.21	0.40	0.47
Mg	mé%	3.17	0.24	0.30
Na	mé%	0.06	0.04	0.05
K	mé%	0.40	0.01	0.02
Somme des bases	mé%	7.84	0.69	0.84
Capacité d'échange	mé%	9.67	10.90	8.35
Saturation	%	81	6.3	10
pH (eau)		5.95	5.35	5.45